



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger - Forbedring af energieffektivitet og indeklima

Energibesparelses- og indeklimaforbedringspotentialer

Heiselberg, Per; Jensen, Rasmus Lund; Nørgaard, Jesper; Justesen, Rasmus Onsild

Publication date:
2010

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Heiselberg, P., Jensen, R. L., Nørgaard, J., & Justesen, R. O. (2010). *Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger - Forbedring af energieffektivitet og indeklima: Energibesparelses- og indeklimaforbedringspotentialer*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 101

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Anvendelse af faseskiftende materialer i fremtidens bygninger

- Forbedring af energieffektivitet og indeklima

Energibesparelser- og indeklimaforbedringspotentialer

Per Heiselberg
Rasmus L. Jensen
Jesper Nørgaard
Rasmus O. Justesen

Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Indeklima & Energi

DCE Technical Report No. 101

**Anvendelse af faseskiftende materialer i
fremtidens bygninger**
- Forbedring af energieffektivitet og indeklima

***Energibesparelser- og
indeklimaforbedringspotentialer***

af

Per Heiselberg
Rasmus L. Jensen
Jesper Nørgaard
Rasmus O. Justesen

Juni 2010

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2010 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sohngårdsholmsvej 57,
DK-9000 Aalborg, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 101

Indholdsfortegnelse

Indledning.....	1
Parametervariation.....	2
Resultatbehandling.....	4
Konklusion.....	7
Besparelseskurver.....	9
Besparelsetabeller.....	14
Designkurver.....	19
Modelbeskrivelse.....	28
Litteraturliste.....	31
Bilag A – Delresultater.....	32
Bilag B – Termisk masse, stuen.....	81
Bilag C – Termisk masse, 1. etage.....	82
Bilag D – Termisk masse, 2. etage.....	83
Bilag E – Parameterliste.....	84
Bilag F – Luftmængdeberegning.....	88

Indledning

I takt med den teknologiske udvikling og stigende velstand stilles der til stadighed stigende krav til komfort, arbejdsmiljø og sundhed. Som konsekvens af de stigende krav til komfort er der i erhvervsbygninger stigende krav til køling for at håndtere antallet af overtemperaturtimer – den mest almindelige parameter til at evaluere termisk diskomfort. Udviklingen har også ført til et stigende behov for og efterspørgsel efter tekniske installationer i de sidste par årtier. Kombineret med populariteten af omfattende brug af glasfacader i moderne erhvervsbygninger, resulterer det i store varmebelastninger fra udstyr og solen. Ydermere må kravene til køling forventes forstærket som følge af nuværende og varslede klimaforandringer.

I bygningssektoren er der fokus på reduktion af energiforbrug og deraf reduceret udledning af CO₂. En mulighed for at reducere energiforbruget i bygninger kunne være at rette mere fokus på projekteringsfasen og i højere grad gøre brug af passive, gratis løsninger. Passive løsninger drejer sig om funktioner der implementeres i bygningen for at reducere energiforbruget – uden selv at forbruge energi.

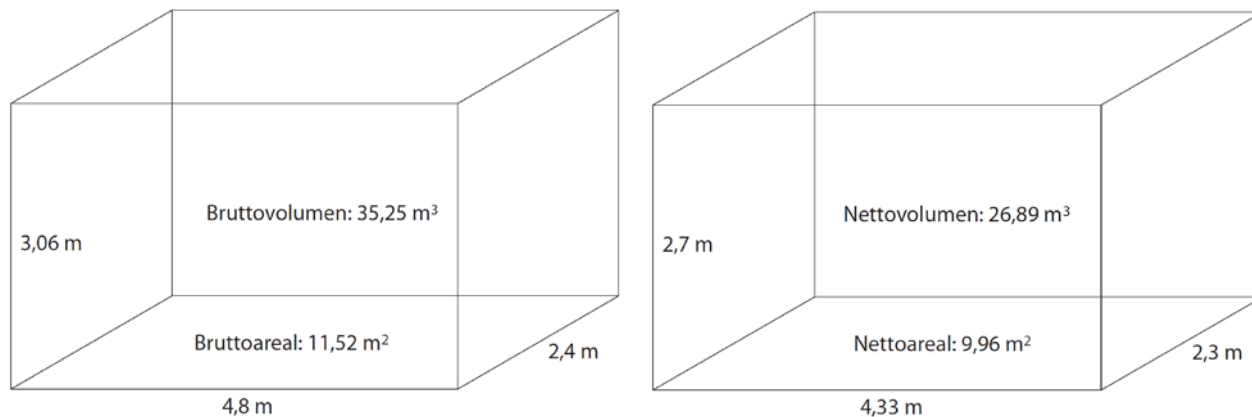
I denne undersøgelse fokuseres på passiv køling der kunne omhandle en reduktion af belastninger, udnyttelse af naturlige varmedræn eller akkumulering af varme. I dette projekt er der anvendt en kombination af de to sidstnævnte til at evaluere potentialet af faseskiftende materialer (PCM) i bygninger. Ved brug af naturlig ventilation skal udeluften benyttes som varmedræn til at bortlede varmen i bygningen. Det er dog ikke muligt i sommerdagtimerne, dels pga. høj udetemperatur og dels pga. begrænsninger af ventilationsrater. Derimod er der masser af kølingspotentiale om natten, hvorfor natventilation er særlig interessant. Idet ventilationen ikke aktiveres sammenfaldende med belastningerne i dagtimerne, er varmeakkumulering en essentiel del af natventilation. Det grundlæggende princip er at akkumulere belastningerne i den tunge bygningsmasse i løbet af dagen og derefter bortlede den gemte varme om natten, hvor kølingspotentialet er størst. På den måde er ideen at fremtidens bygninger kan holdes komfortable om sommeren, uden at det kræver ekstra energi til mekanisk køling.

Bygningens evne til at akkumulere varme er bestemt ved dens varmekapacitet. Tungere bygningsdele har en højere kapacitet og kan således binde mere varme. Hvis bygningen ikke har tilstrækkelig varmekapacitet eller de tungere dele f.eks. ikke er eksponerede, kan varmekapaciteten øges markant ved at anvende faseskiftende materialer. Disse er karakteriseret ved at kunne akkumulere betydelige energimængder ved selv små temperaturstigninger, når materialet skifter fase fra fast til flydende form og frigive det igen ved den modsatte proces.

Som nævnt er formålet med denne undersøgelse at evaluere energibesparelses- og indeklimaforbedringspotentialet ved brug af PCM i bygninger. På baggrund af ovenstående forventes implementering af PCM at kunne nedbringe det mekaniske kølebehov.

Parametervariation

Det er besluttet at undersøge effekten af implementering af PCM i et kontormiljø, idet kølebehovet typisk er stort. Udgangspunktet er en række cellekontorer side om side. Da de alle er ens, fokuseres der i simuleringerne kun på et enkelt cellekontor.



Kontoret har et areal på 4,8 m x 2,4 m med øvrige brutto- og nettomål som vist på ovenstående figurer.

Under simuleringerne er det valgt at variere fem parametre, som alle har stor indflydelse på varmeakkumuleringen i og belastningen på bygningen. De fem parametre og de værdier der har været benyttet er listet i tabellen nedenfor.

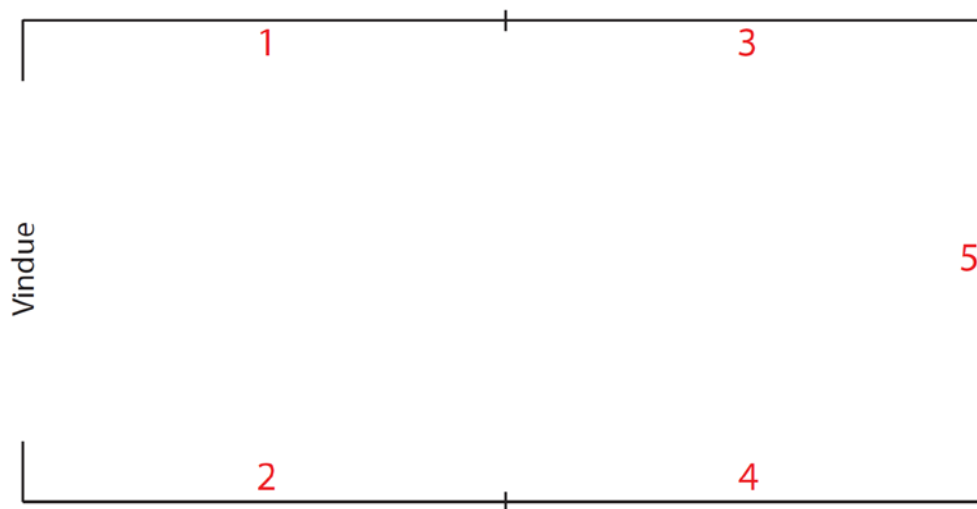
Brugen af rummet er den samme for alle simuleringerne, hvorfor antallet af personer og udstyr ikke ændres.

PCM [%]	g-værdi [-]	Natvent. [h ⁻¹]	Rudestørrelse [m ²]	Orientering [-]
0	0,60 (ingen solafskærmning)	0	2	N
20	0,50 (indvendig gardin, åben)	2	4	NØ
40	0,40 (indvendig gardin, tæt)	4	6	Ø
60	0,30 (gardin mellem glaslag)	6		SØ
80	0,20 (udvendig rullegardin)	8		S
100				SV
				V
				NV

Den ønskede parametervariation resulterer samlet set i 3600 årssimuleringer. Til at udføre de omtalte simuleringer benyttes BSim. Opsætningen af modellen i BSim er beskrevet i kapitlet "Modelbeskrivelse"

PCM

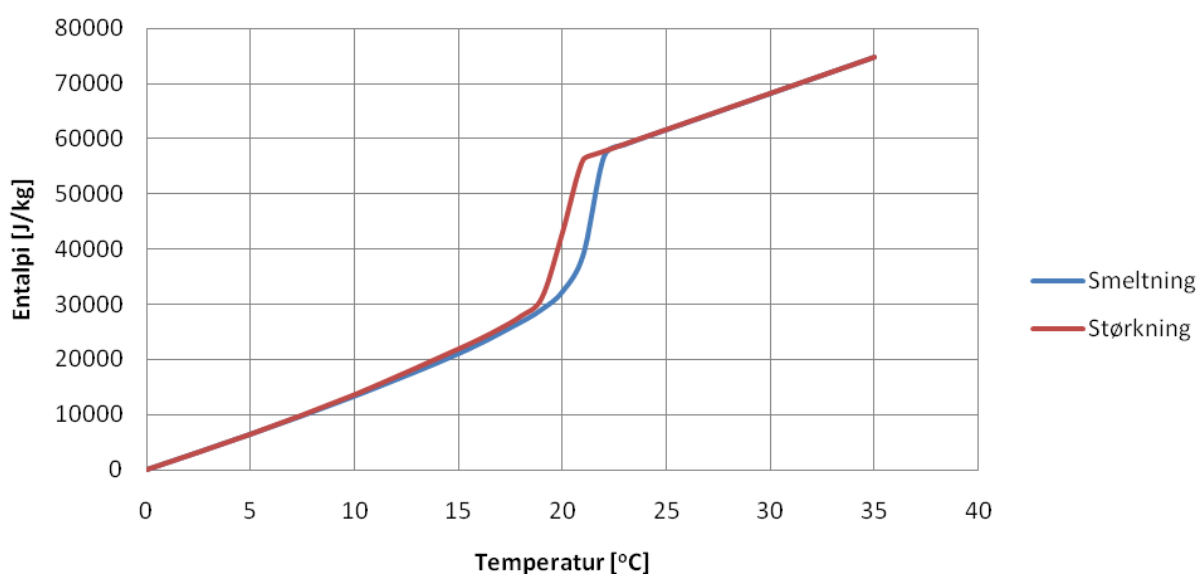
Modelleringen af de forskellige mængder af PCM er sket ved at opdele kontorets indervægge i fem dele som vist på nedenstående figur. Det betyder at hver af de to lange sider er opdelt i to mindre vægge.



Implementering af PCM sker i det yderste lag gips. Det er tilføjet efter følgende mønster, når der er kørt simuleringer:

0 %	Ingen
20 %	Væg 5
40 %	Væg 1 + 2
60 %	Væg 3 - 5
80 %	Væg 1 - 4
100 %	Alle

Til gipsmaterialet er der tilføjet 30 vægt % PCM. Egenskaberne fra ovenstående tabel forbliver de samme for kompositmaterialet. Den integrerede PCM består af mikroindkapslede enheder af paraffin, hvilket er udviklet, så smeltepunktet er 23 °C (Rose et al., 2009). I faseskiftet mellem fast og flydende form bindes betydelige energimængder og frigives ved den modsatte proces. Disse egenskaber ønskes udnyttet til at dæmpe temperaturfluktuationer i kontoret henover dagen ved at akkumulere varmebelastning og frigive det ved natventilation. På nedenstående figur er entalpien for PCM materialet plottet som funktion af temperaturen (Wittchen et al., 2008).



g-værdi, solafskærmning

Solafskærmning modelleres ved at sænke g-værdien af glasset i vinduerne. I tabellen ovenfor (side 2) er der i parentes angivet hvilken solafskærmning reduktionen i g-værdien svarer til (Andersen et al., 2002). Modellering af solafskærmningen vha. ændring af g-værdien er taget ud fra simulerings-tekniske hensyn og er en udmærket approksimation for køleperioden.

Natventilation

Natventilationen er afgørende for at kunne fjerne den energi der oplagres om dagen. Det er valgt at natventilationen er aktiv hele tiden uden for brugstiden. Dvs. at hvis udetemperaturen er lav i weekenden åbnes vinduerne.

Vinduesstørrelse

Vinduesstørrelsen er afgørende for solindfaldet og det er valgt at variere størrelsen fra "hele facaden" til "minimum". "Hele facaden" svarer til ca. 6 m² og "minimum" til ca. 2 m² for at opfylde kravene til dagslys. Der undersøges også for en "mellem værdi" på 4 m².

Orientering

Da solindfaldet er afgørende for kølebehovet, undersøges otte forskellige orienteringer (S, SV, V osv.).

Resultatbehandling

Resultatet af projektet bliver en evaluering af antallet af overtemperaturtimer over 26 °C henholdsvis 27 °C for alle kombinationer af parametre, samt en beregning af besparelsespotential for mekanisk køling.

Intern belastning

Resultaterne er primært opgjort i forhold til den samlede interne belastning der er beregnet efter følgende formel:

$$q = \frac{Q_{\text{år}}}{t_{\text{år}} \cdot A_{\text{gulv}}} = \frac{Q_{\text{intern}} + Q_{\text{sol}}}{8760h \cdot 11,52m^2}$$

Hvor:

q	Varmebelastningen i kontoret [W/m ²]
Q _{år}	Den årlige belastning i kontoret [kWh]
t _{år}	Antal timer på et år [h]
A _{gulv}	Gulvareal [m ²]
Q _{intern}	Intern belastning [kWh]
Q _{sol}	Belastning fra solen [kWh]

Termisk masse

Beregning af den termiske masse er sket i henhold til EN ISO 13786 Annex A og kan ses i bilag B-D (European Standard, 2005). Ved beregningen er der taget hensyn til følgende:

- Termisk masse i inventaret er medtaget
- Varmeakkumulering i etagedækket er ikke medregnet, idet der er trægulv ovenpå samt isolering under
- Den termiske masse af PCM er taget fra BSim

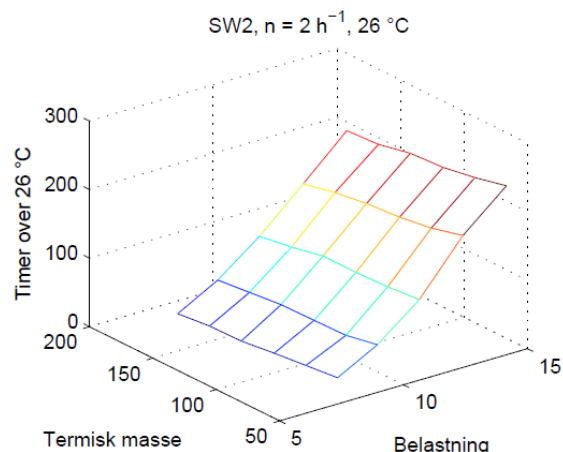
Resultatgrafer

Ideen med resultatbehandlingen er at skabe designkurver for hvert rum på baggrund af belastningen i rummet, den termiske masse og natkølingens luftskifte. Designkurverne skal indikere hvilke kombinationer af de tre parametre, der sikrer et anbefalet termisk indeklima med maksimalt 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C. I første omgang er det valgt at plote antallet af overtemperaturtimer som funktion af belastningen og den termiske masse med et låst luftskifte. Dette er således gjort for alle luftskifter, alle rum, alle orienteringer og både 26 og 27 °C. Et eksempel på en resultatmatrice og tilhørende plot er vist på nedenstående figurer. Tabellen til venstre viser antallet af overtemperaturtimer over 26 °C, som funktion af belastningen (vandret) og den termiske masse (lodret). Dette er plottet på figuren til højre.

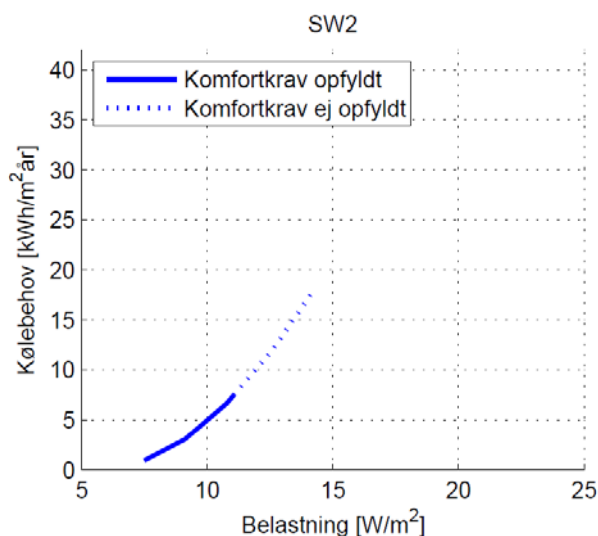
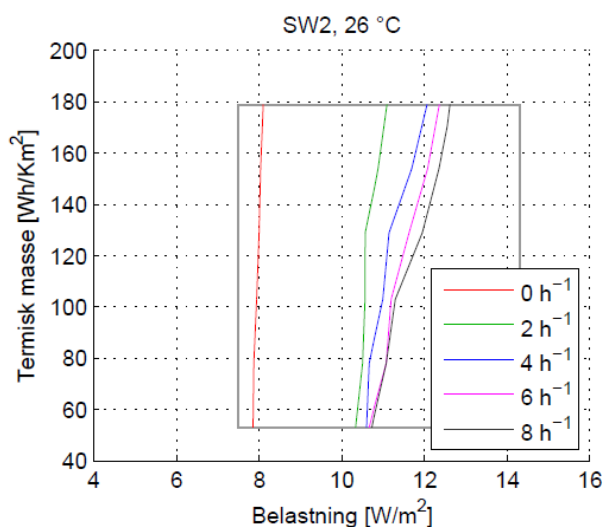
Termisk masse [Wh/Km²]

Intern belastning [W/m ²]					
	14,3	12,6	10,8	9,1	7,5
53	242	188	113	65	34
78	231	176	109	56	29
103	223	169	107	55	24
129	220	165	107	54	18
154	210	158	97	49	17
179	207	148	90	44	12

Antal timer over 26 °C for SW2



Efterfølgende udtages konturlinien svarende til skæringen med 100 timer over 26 °C (tilsvarende for 25 timer over 27 °C) og dette plottes for alle luftskifter som funktion af belastning og termisk masse. Dette er således de ønskede designkurver og et eksempel kan ses på nedenstående figur (venstre). Samtidig er der for alle cases undersøgt hvad det ville koste af energi at opretholde det anbefalede termiske indeklima ved brug af mekanisk køling. Dette er altså tænkt som det besparelespotential, der kan opnås ved implementering af de passive løsninger. Et eksempel er vist på nedenstående figur (højre), hvor det nødvendige kølebehov er plottet som funktion af den korresponderende varmebelastning i rummet. Der er dels angivet i hvilket interval det anbefalede termiske indeklima er opfyldt og dels de yderligere muligheder for besparelse, hvis der kan kompenseres på dette område. Ved beregning af energi til mekanisk køling er natventilationen 0 h⁻¹.



Den samlede række af resultater vil i det følgende blive præsenteret. Først præsenteres besparelspotentialer som kurver og tabeller. Derefter følger alle designkurverne og slutteligt følger en række bilag, hvor delresultaterne for hvert rum er det første. Fælles for alle resultater er, at de er navngivet med engelske orienteringer, tallene 1,2 og 3 for henholdsvis stuen, 1. etage og 2. etage samt starter i nord og går med uret rundt. På designkurverne er der plottet en grå ramme, der angiver intervallet i hvilket der er simuleret. Disse danner således forudsætningen/afgrænsningen for resultaterne.

Konklusion

Resultaterne viser generelt at indsættelse af PCM har positiv indflydelse på bygningens evne til at kunne nedbringe overtemperaturtimer. Ved et natluftskifte på 0 h^{-1} er der kun meget lille effekt at spore ved at øge den termiske masse, mens effekten naturligt bliver større ved øget luftskifte.

At holde maksimalt 25 timer over 27°C i rummet viste sig at være det designgivende komfortkrav i alle tilfælde, frem for maksimalt 100 timer over 26°C . Det er dog ikke muligt i alle de opstillede tilfælde at nedbringe antallet af overtemperaturtimer til et acceptabelt niveau med det valgte parameterinterval for luftskiftet og PCM og uden brug af solafskærmning (reduceret g-værdi). Ved alle simuleringer med den mindste vinduesstørrelse kunne det termiske indeklime holdes under det beskrevne antal overtemperaturtimer for alle orienteringer og g-værdier. Problemet forekommer i rum med høje g-værdier for de største og mellemstore vinduer, og i høj grad hvor orienteringen er mod syd, sydøst og sydvest, men også for de øst- og vestorienterede rum. Det er dog muligt med en lav g-værdi at holde belastningen nede på niveau, således det termiske indeklime blev acceptabelt.

Virkingen af det indsatte PCM er forskellig for de forskellige orienteringer og vinduesstørrelser. Overordnet giver forskellen mellem at indsatte 0 % og 100 % PCM en evne til at holde det samme termiske indeklime med yderligere intern belastning på ca. $1 - 1,5 \text{ W/m}^2$ i rummet.

Resultatet af undersøgelsen af energibesparelspotentialer til mekanisk køling er, at besparelsen generelt ligger omkring 5 kWh/m^2 pr. år, med et acceptabelt termisk indeklime. Skal det termiske indeklime holdes på maksimalt 25 timer over 27°C , må gennemsnitsbelastningen for rummet i bedste tilfælde være ca. 12 W/m^2 og i sådan en situation vil det være muligt at spare omkring 10 kWh/m^2 pr. år. Det er muligt at spare helt op til 40 kWh/m^2 pr. år ved at bruge de valgte passive løsninger. Dette er dog afspejlet af tilsvarende høje belastninger, som ikke kan fjernes udelukkende ved passive løsninger. Konsekvensen bliver således, at kravene til termisk komfort ikke kan overholdes.

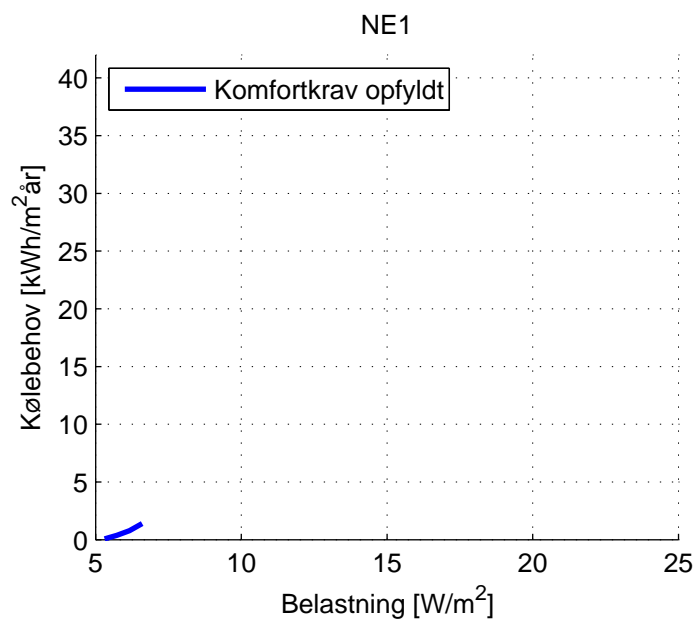
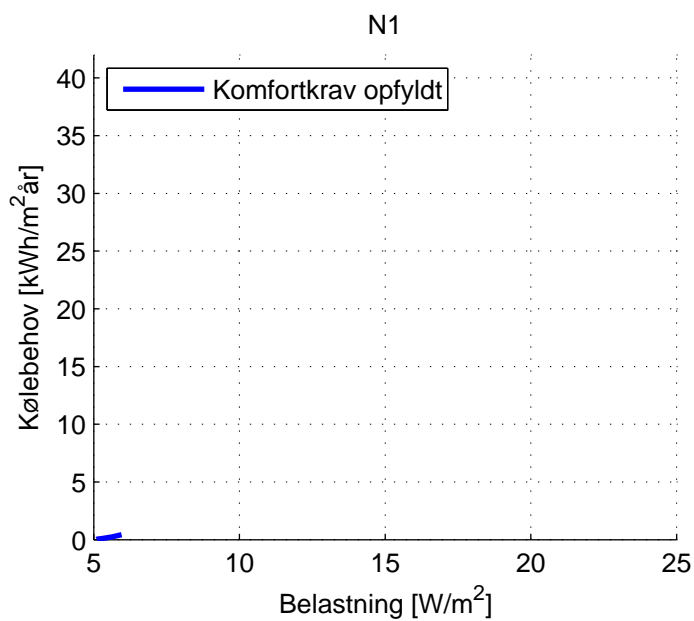
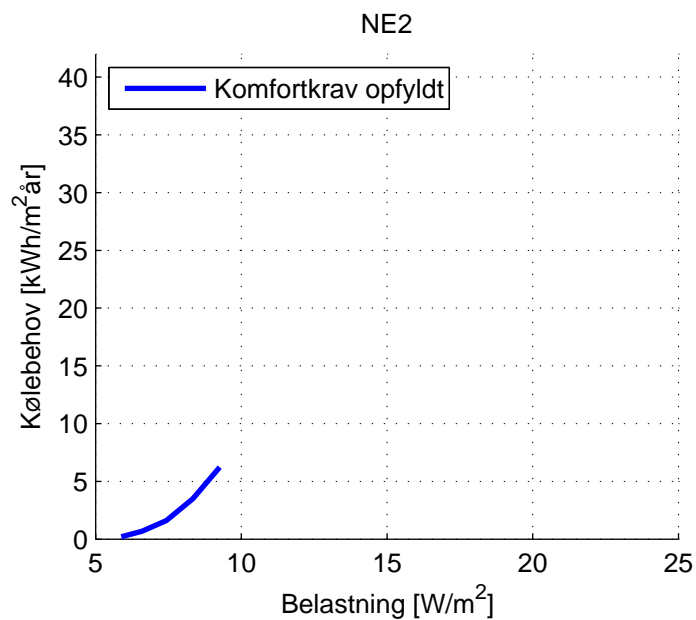
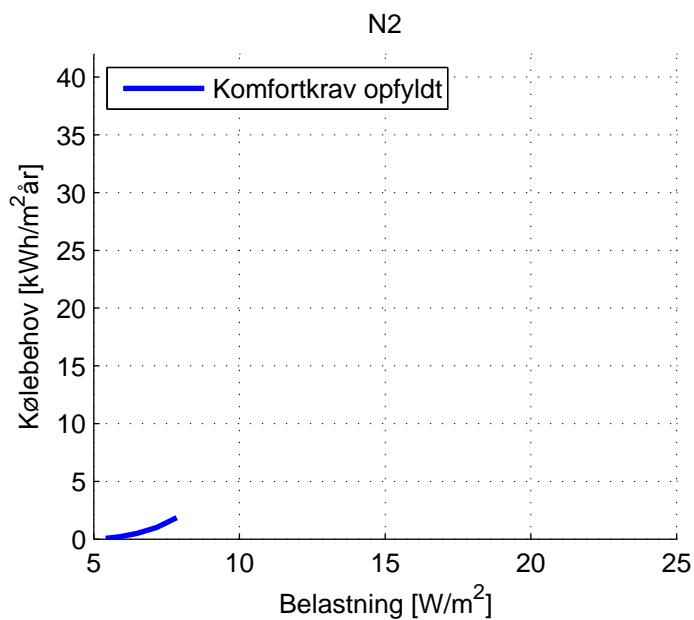
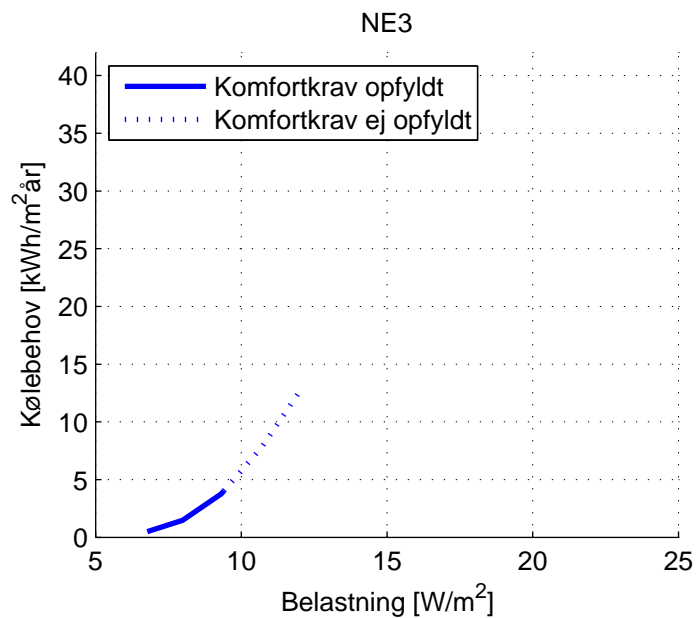
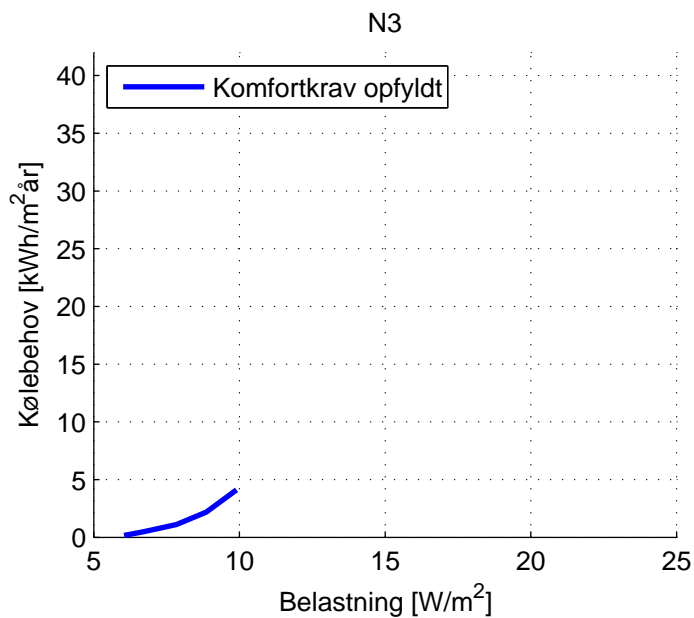
For at få et mere detaljeret overblik over resultaterne, er der i nedenstående tabel listet kriterierne for at opfylde komfortkravene og dermed opnå et tilfredsstillende termisk indeklime for alle kombinationer af rudestørrelse og orientering. For hver kombination er mindstekravet til mængden af PCM (% af indvendig overfladeareal), minimumsluftskiftet af natventilationen (h^{-1}), den maksimale g-værdi (-) samt besparelsen til mekanisk køling (kWh/m^2 pr. år) angivet. Der er ikke foretaget interpolation, så der er således rundet af til nærmeste hele værdi af alle parametre (der er rundet op for PCM og natluftskifte og ned for g-værdi).

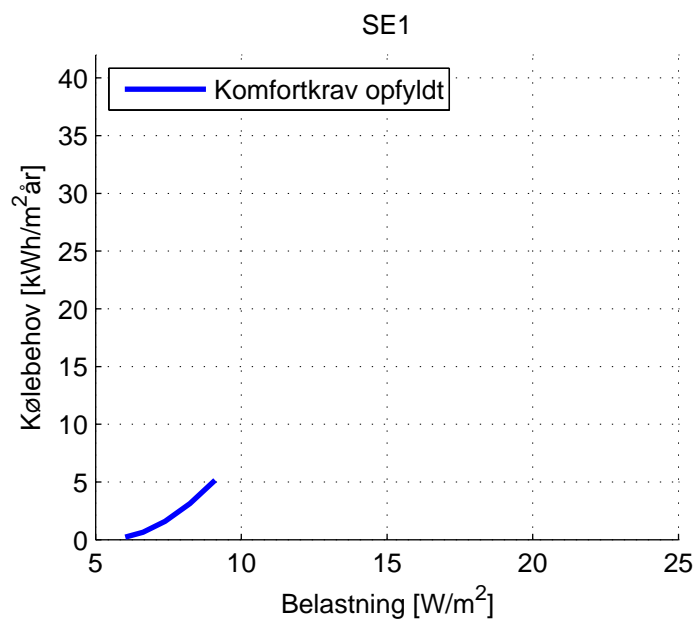
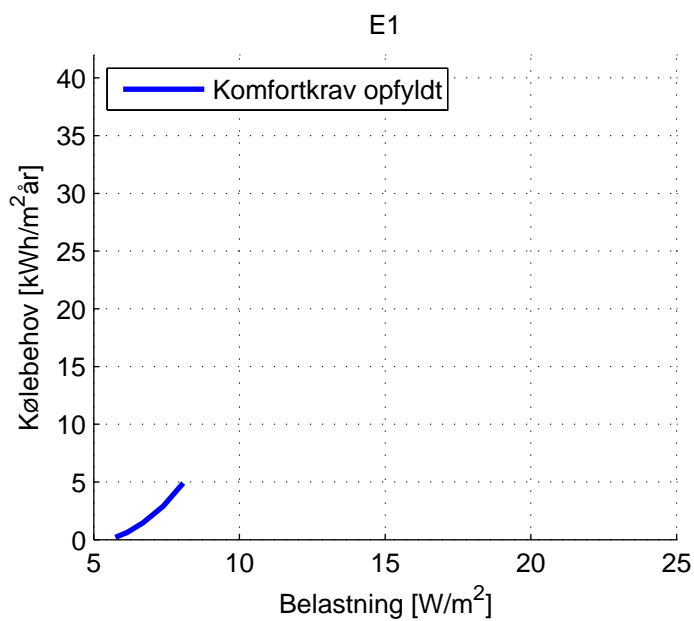
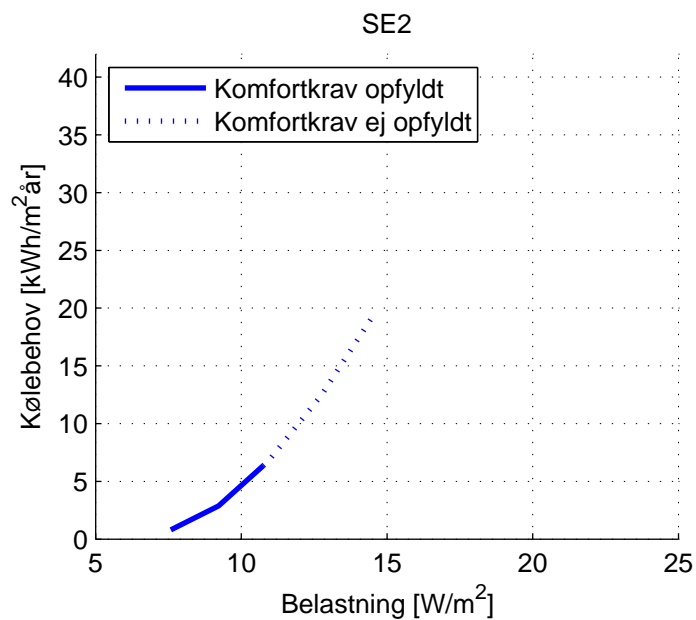
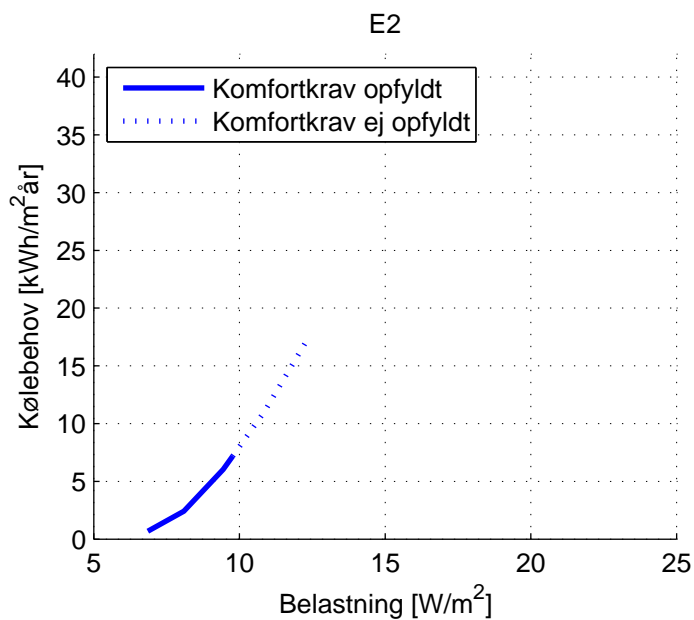
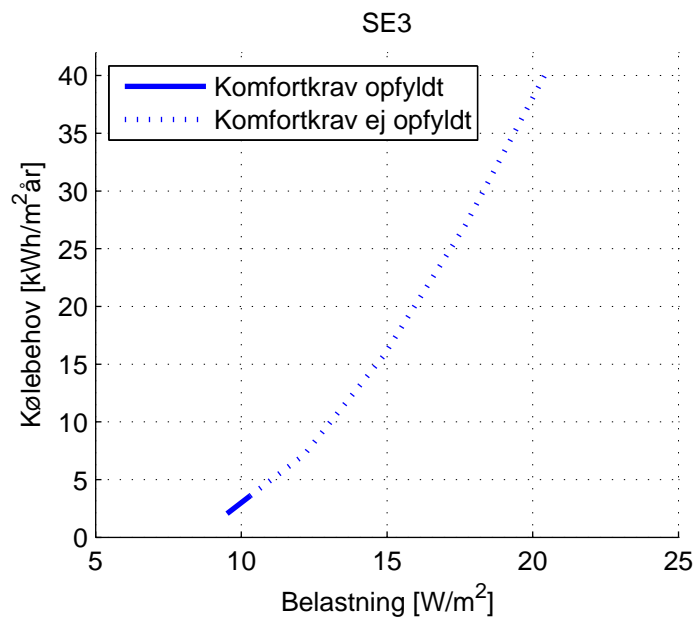
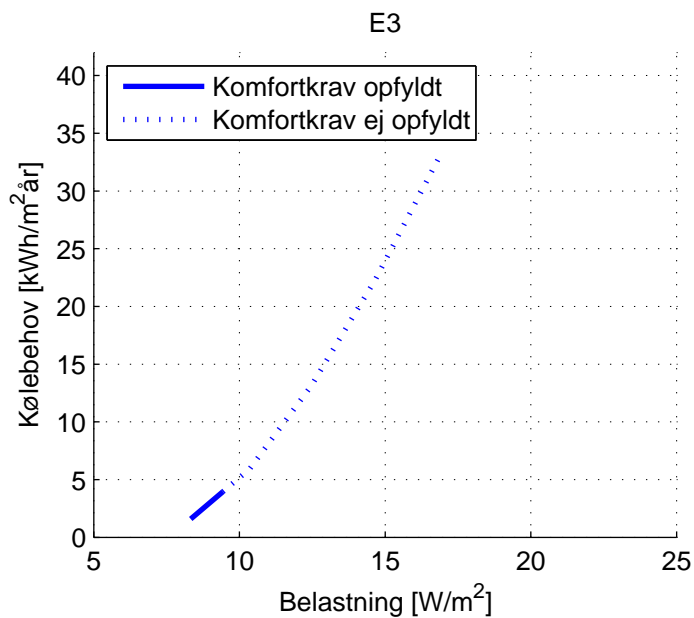
Fra tabellen kan det ses at det er muligt at sikre opfyldelse af det termiske indeklime udelukkende ved brug af passiv køling for alle vinduesstørrelser. Det eneste tilfælde hvor kravene til termisk indeklime kan opfyldes uden passiv køling er for en nordlig orientering og en rude størrelse på 2 m^2 . For alle øvrige orienteringer og rude størrelser er der behov for passiv køling i større eller mindre omfang. Tilsvarende kan det ses at for 6 m^2 vindue er det kun den nordlige retning der ikke kræver solafskærmning (reduceret g-værdi), mens det for 4 m^2 vindue også gælder NV og NØ.

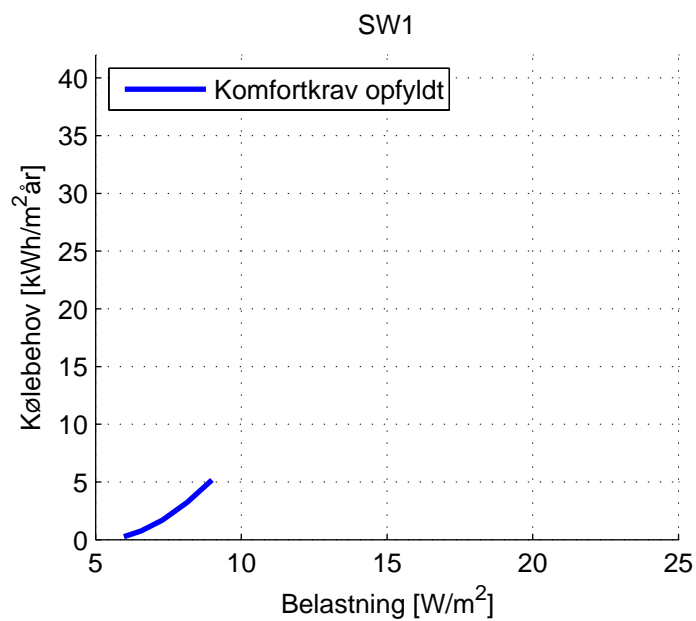
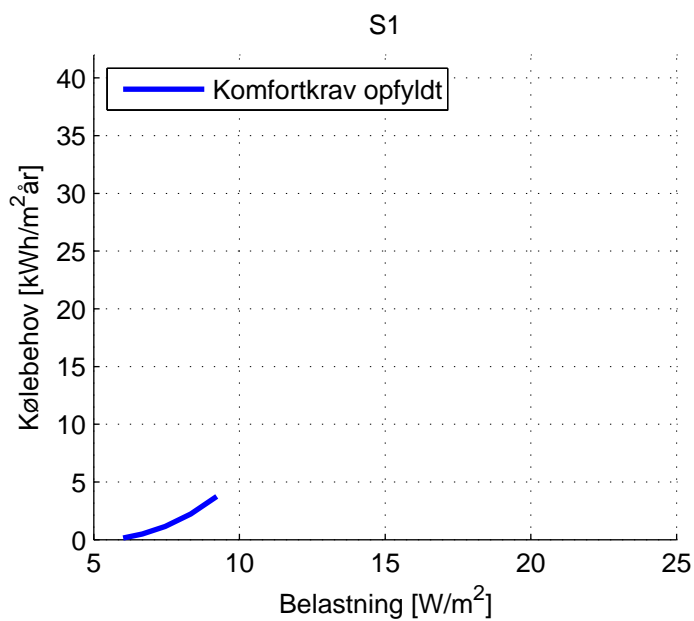
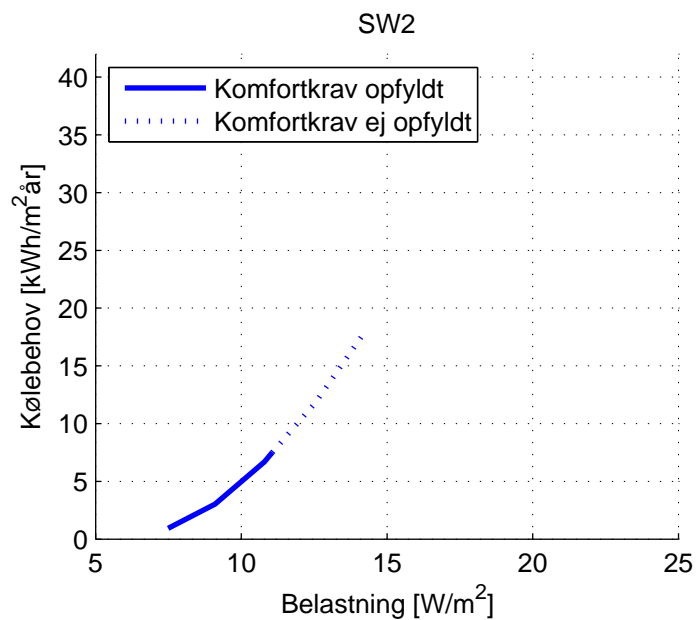
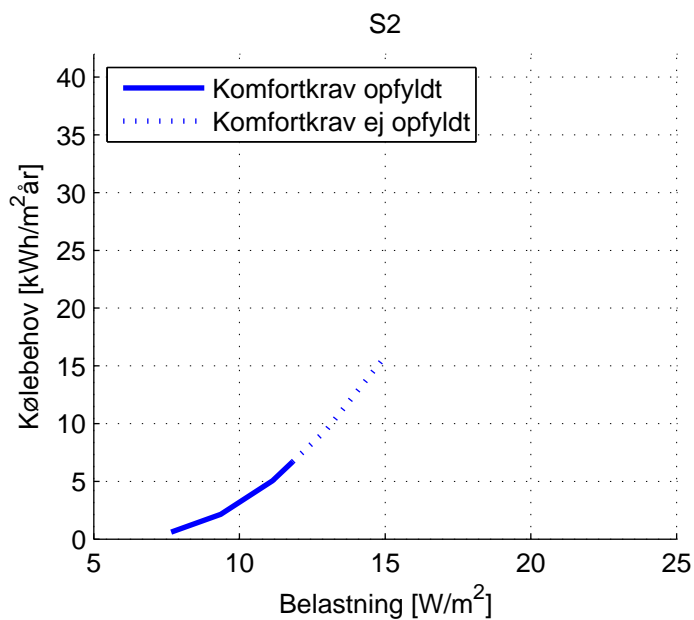
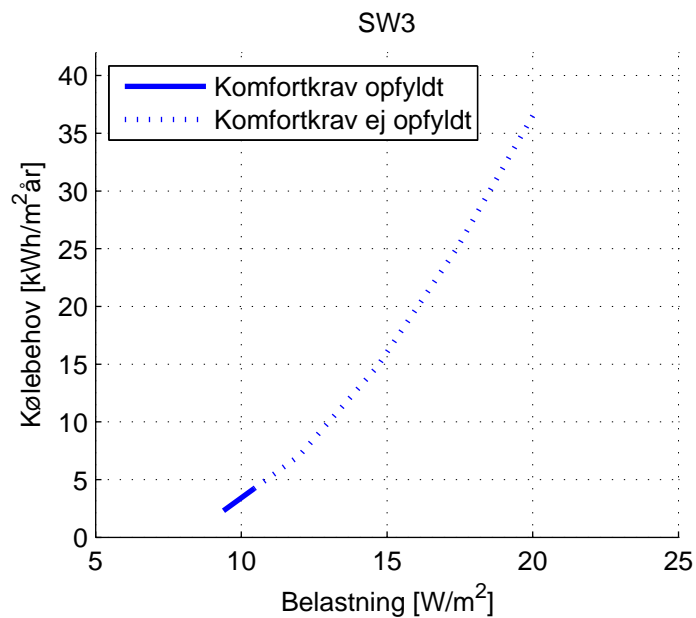
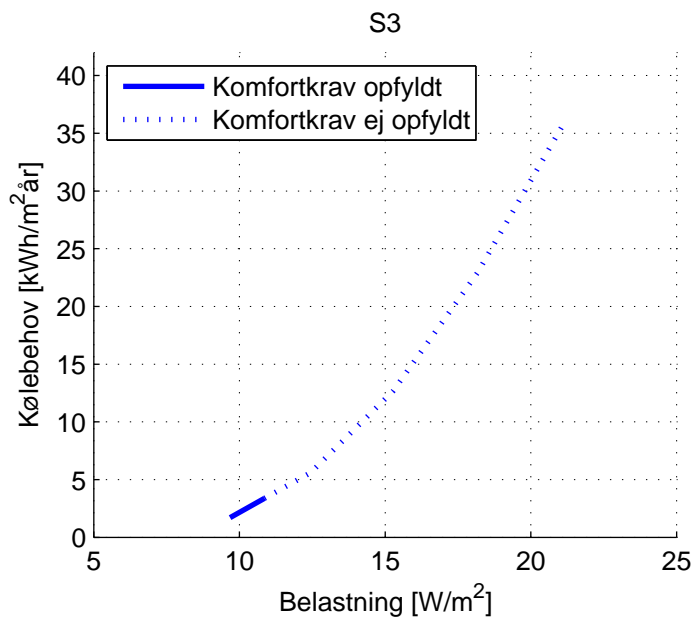
Der bør derfor som udgangspunkt være mulighed for solafskærmning og natventilation i alle kontorer.

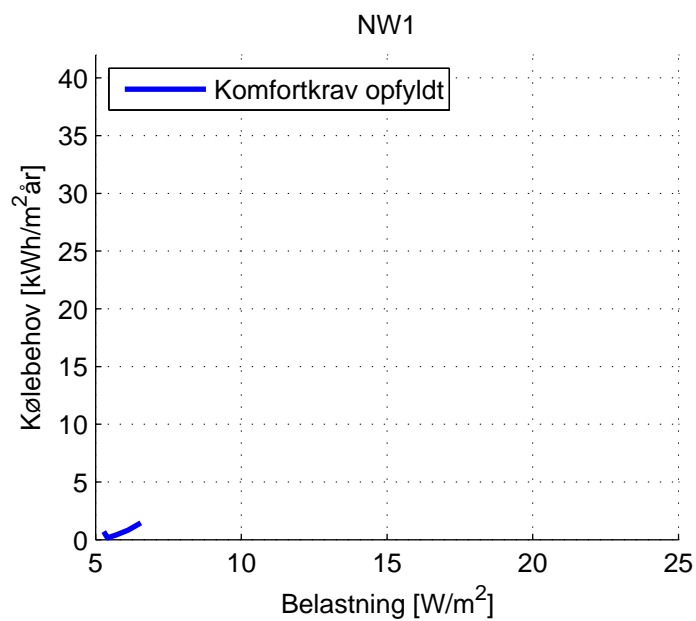
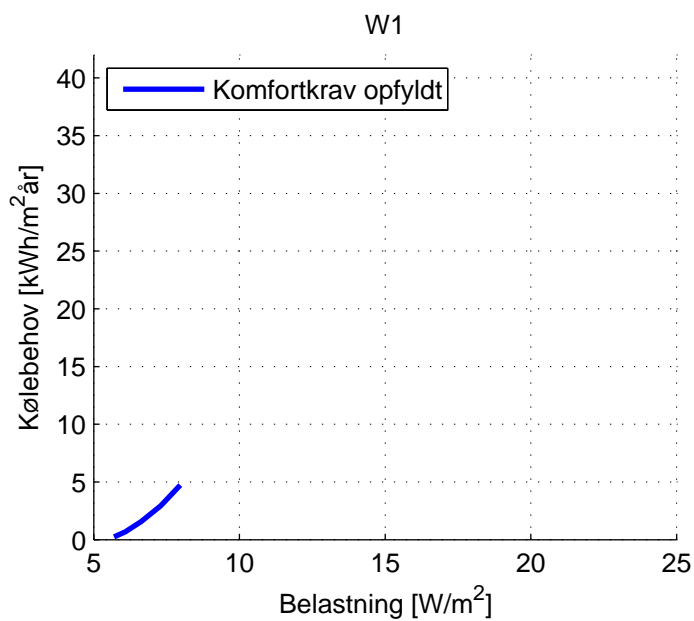
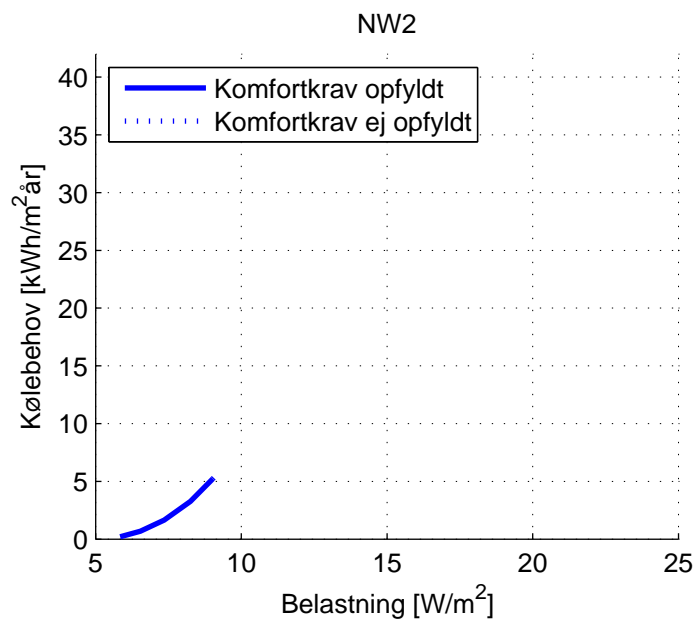
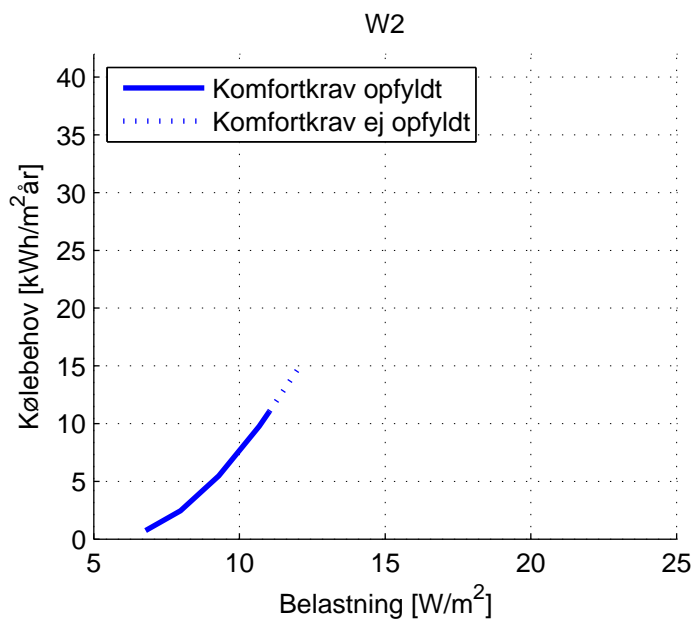
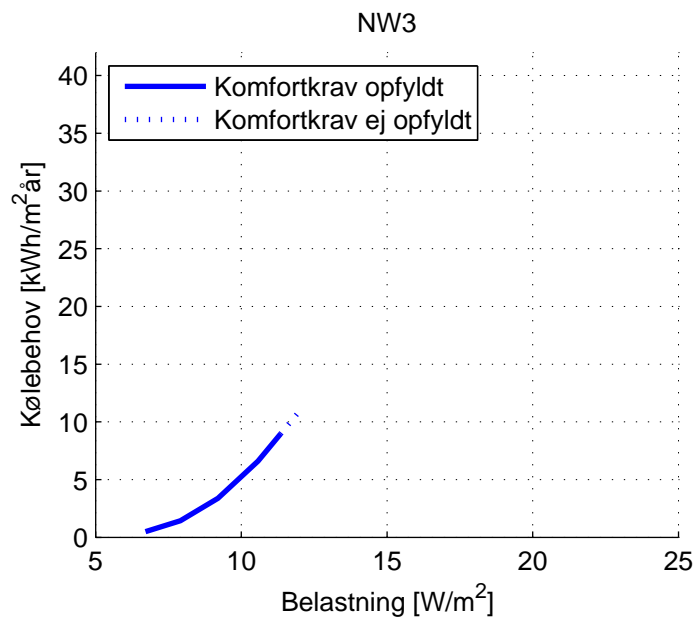
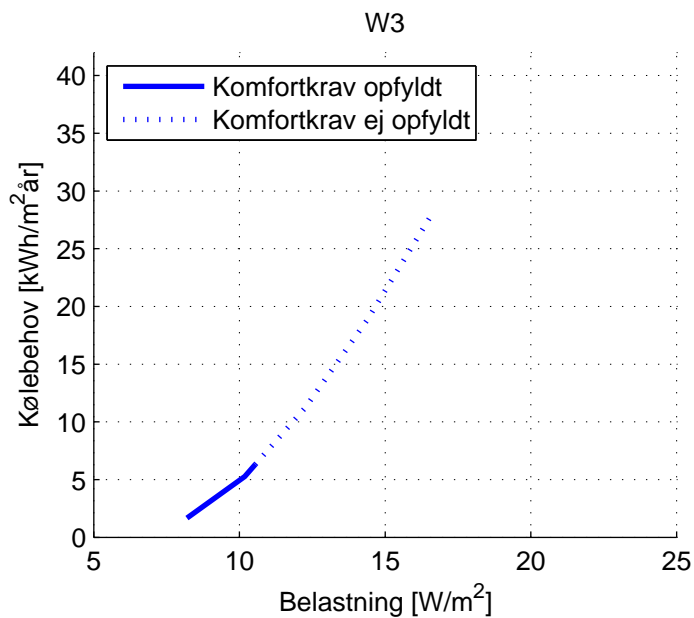
		N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
2 m²	PCM						20		
	n nat g Bespar.	0 0,4	2 1,4	2 4,9	2 5,2	2 3,8	2 5,2	2 4,7	2 1,5
4 m²	PCM		100	100	100	100	100	100	
	n nat g Bespar.	2 1,9	4 6,2	8 0,4 6,0	8 0,4 6,8	8 0,4 5,1	8 0,4 6,7	8 0,5 9,8	4 5,6
6 m²	PCM	80	100	40	80	40	100	100	100
	n nat g Bespar.	4 4,1	8 0,4 3,8	2 0,2 1,6	2 0,2 2,1	2 0,2 1,7	2 0,2 2,3	8 0,3 5,3	8 0,5 6,6

Besparelseskurver









Besparelsetabeller

N3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,0	0,2
6,7	0,5
7,8	1,1
8,9	2,2
9,9	4,1

NE3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,8	0,5
8,0	1,5
9,3	3,8
10,7	7,8
12,1	13,0

N2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,4	0,1
5,9	0,2
6,5	0,5
7,2	1,0
7,9	1,9

NE2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,9	0,2
6,6	0,7
7,4	1,6
8,3	3,5
9,3	6,2

N1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,1	0,0
5,1	0,0
5,3	0,1
5,6	0,3
6,0	0,4

NE1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,3	0,1
5,4	0,2
5,7	0,4
6,2	0,8
6,6	1,4

E3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
8,3	1,6
10,4	5,9
12,5	13,2
14,7	22,3
16,9	32,9

SE3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
9,5	2,1
12,2	7,2
14,9	15,7
17,7	27,0
20,5	40,4

E2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,9	0,7
8,1	2,4
9,4	6,0
10,9	11,1
12,3	17,1

SE2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
7,6	0,8
9,2	2,9
10,9	6,8
12,7	12,4
14,5	19,4

E1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,7	0,2
6,2	0,6
6,7	1,5
7,4	2,9
8,1	4,9

SE1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,0	0,2
6,6	0,6
7,4	1,6
8,2	3,1
9,1	5,2

S3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
9,7	1,7
12,4	5,6
15,3	12,7
18,2	22,9
21,1	35,5

SW3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
9,4	2,3
12,0	7,1
14,7	14,8
17,4	25,0
20,1	37,1

S2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
7,7	0,6
9,4	2,1
11,1	5,1
13,0	9,5
14,9	15,4

SW2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
7,5	0,9
9,1	3,0
10,8	6,7
12,6	11,8
14,3	18,2

S1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,0	0,2
6,7	0,5
7,5	1,1
8,3	2,2
9,2	3,8

SW1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,0	0,3
6,6	0,8
7,3	1,7
8,1	3,2
9,0	5,2

W3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
8,2	1,7
10,2	5,3
12,3	11,2
14,4	18,8
16,5	27,6

NW3	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,7	0,5
7,9	1,4
9,2	3,4
10,6	6,6
11,9	10,8

W2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
6,8	0,8
8,0	2,5
9,3	5,5
10,7	9,8
12,1	15,0

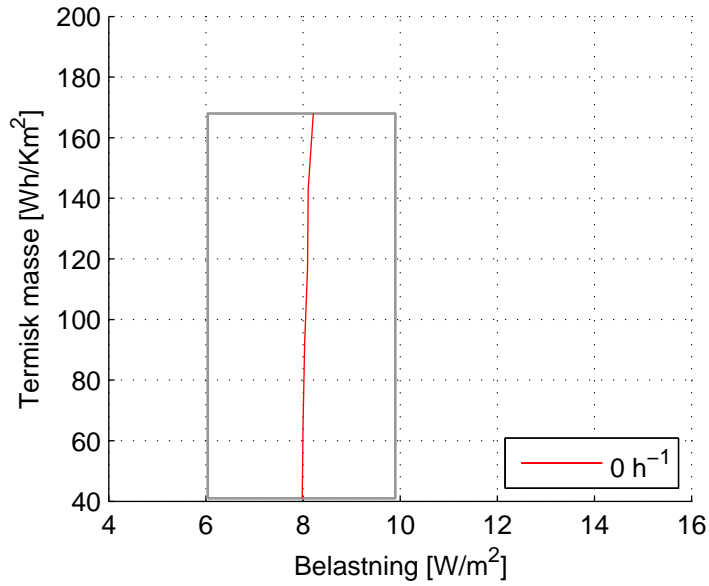
NW2	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,8	0,2
6,5	0,7
7,4	1,7
8,3	3,3
9,2	5,6

W1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,7	0,3
6,1	0,7
6,6	1,6
7,3	2,9
8,0	4,7

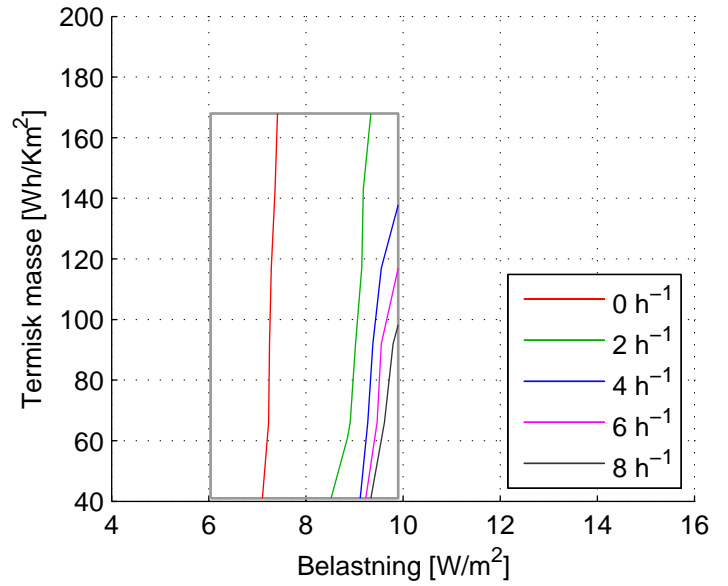
NW1	
Varmebelastning [W/m ²]	Kølebehov [kWh/(m ² · år)]
5,3	0,7
5,4	0,2
5,7	0,4
6,1	0,8
6,6	1,5

Designkurver

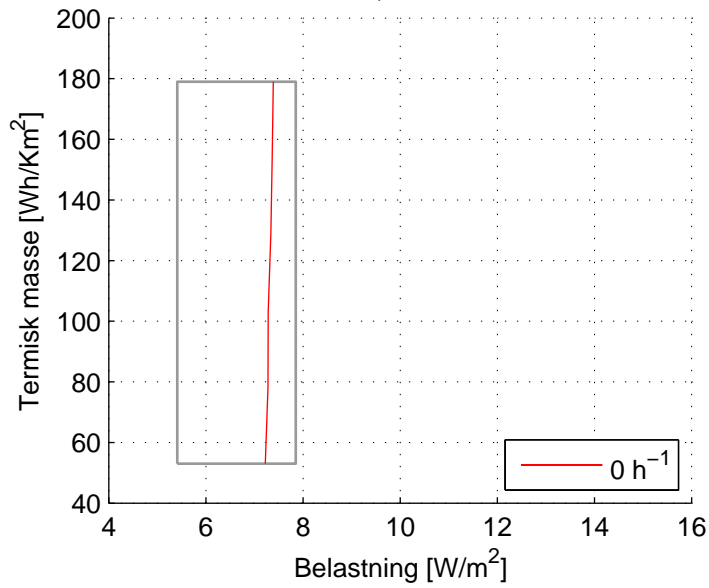
N3, 26 °C



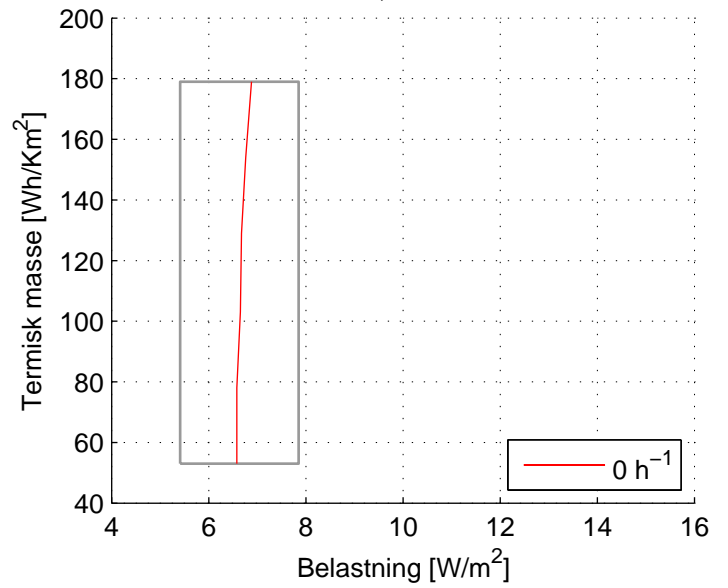
N3, 27 °C



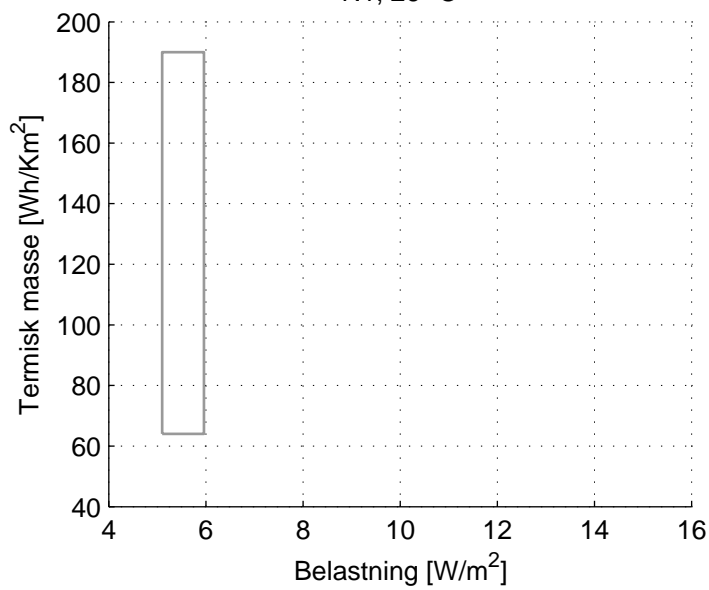
N2, 26 °C



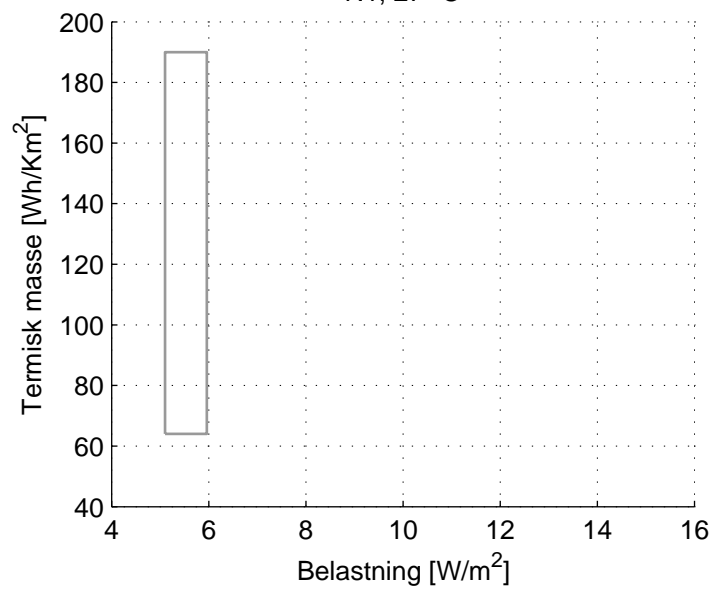
N2, 27 °C



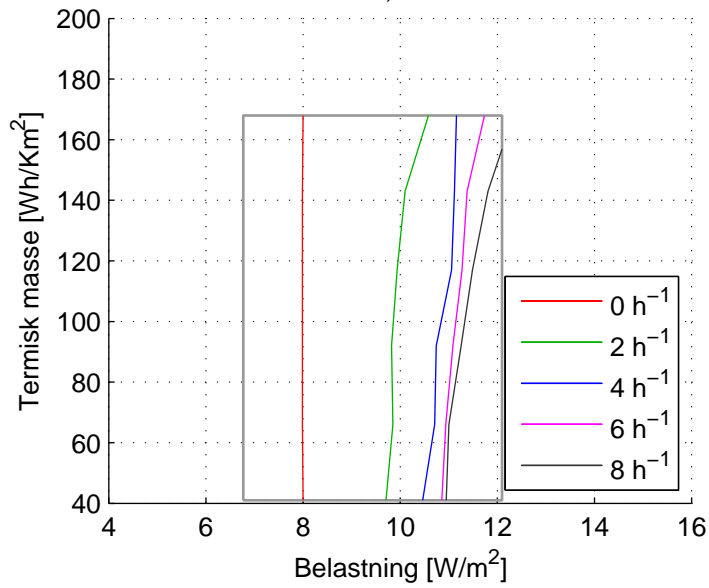
N1, 26 °C



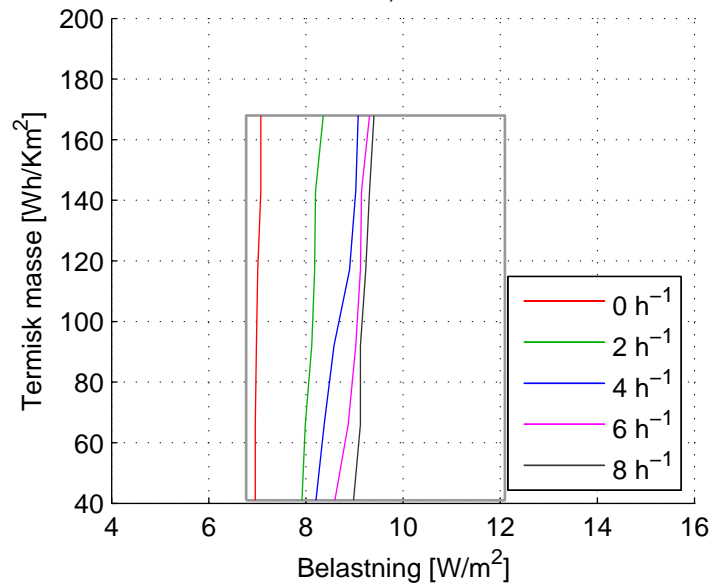
N1, 27 °C



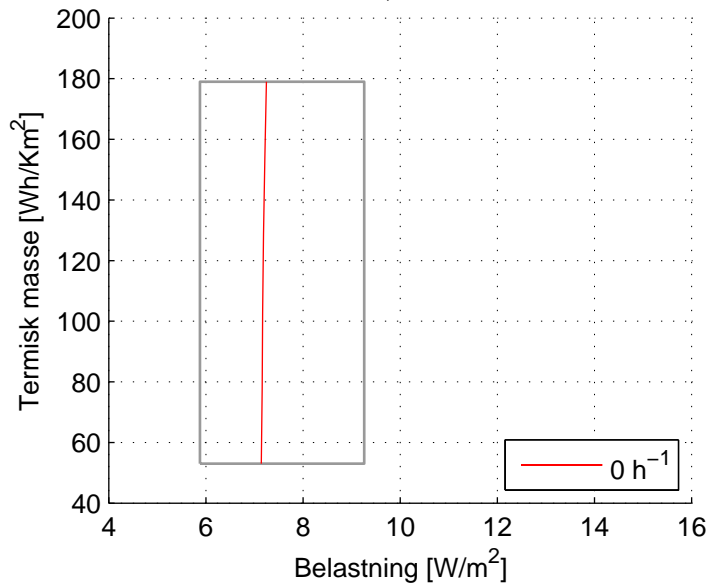
NE3, 26 °C



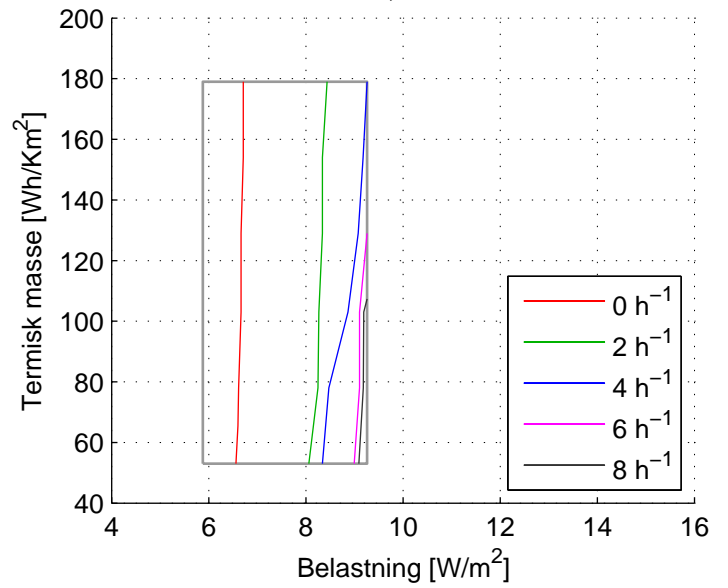
NE3, 27 °C



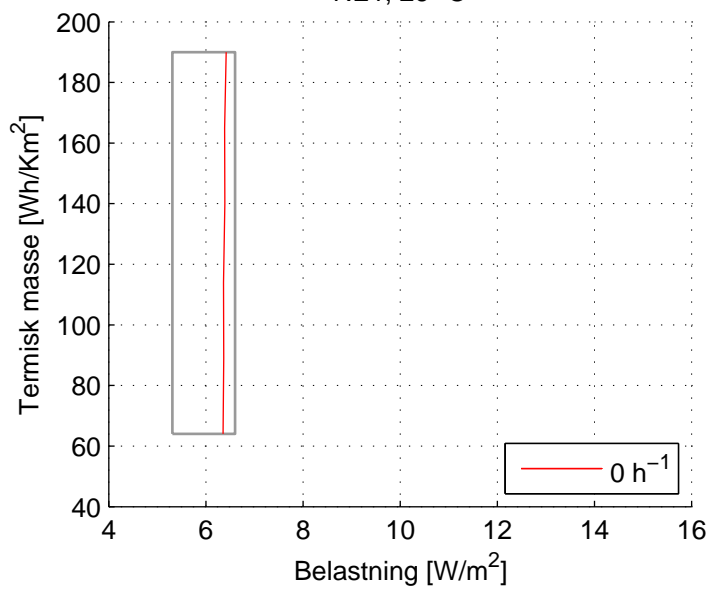
NE2, 26 °C



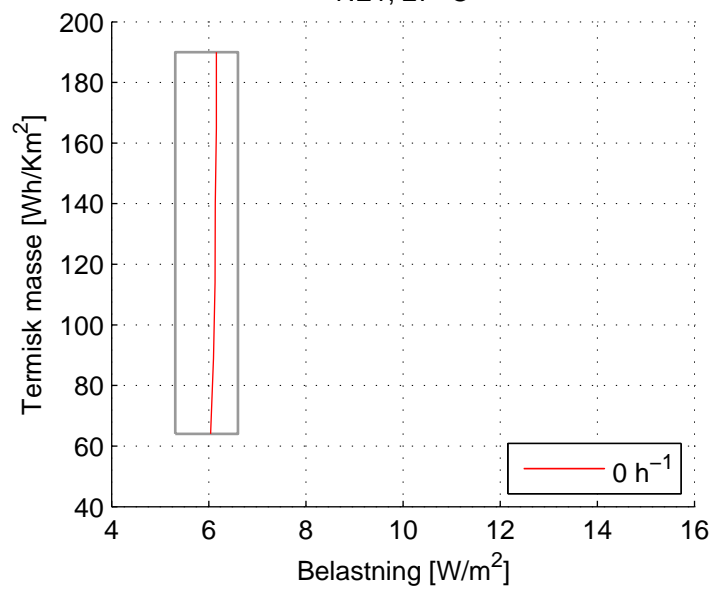
NE2, 27 °C



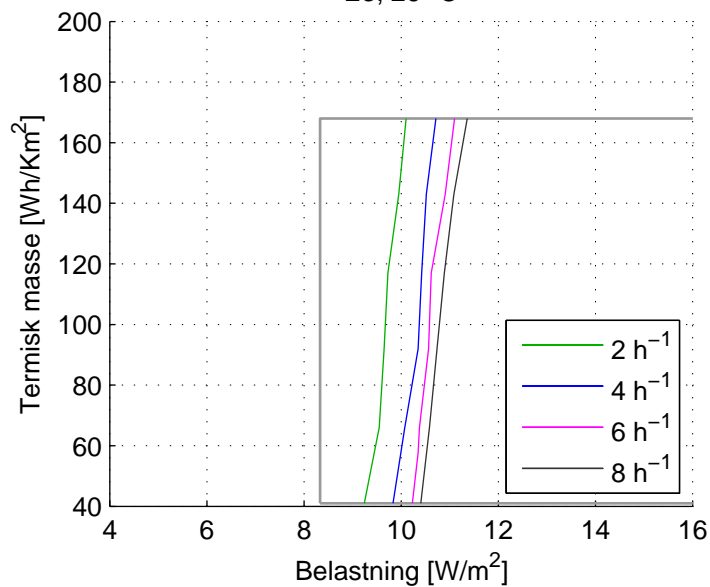
NE1, 26 °C



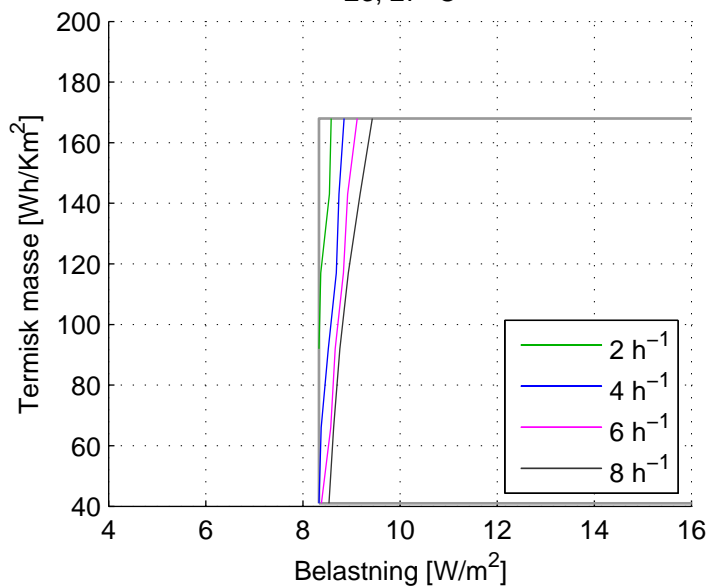
NE1, 27 °C



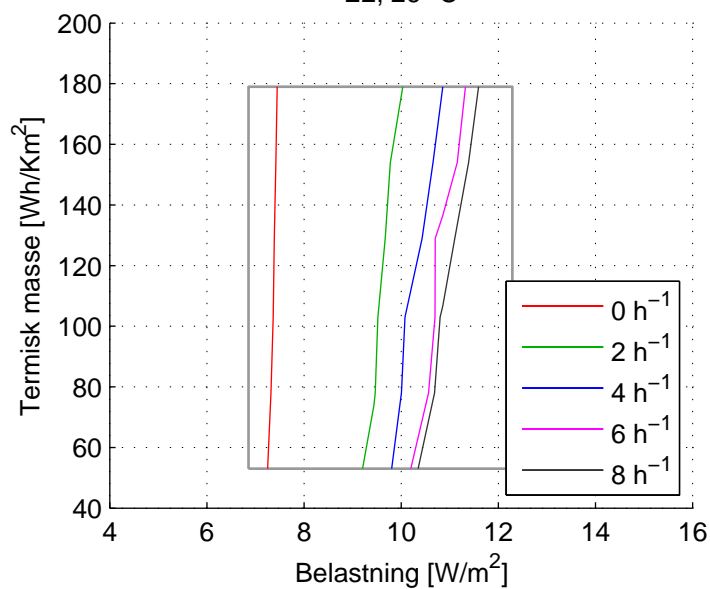
E3, 26 °C



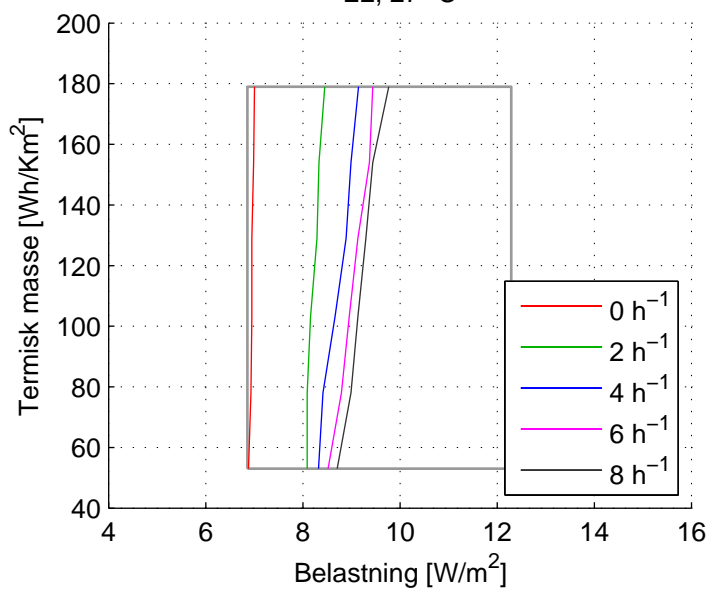
E3, 27 °C



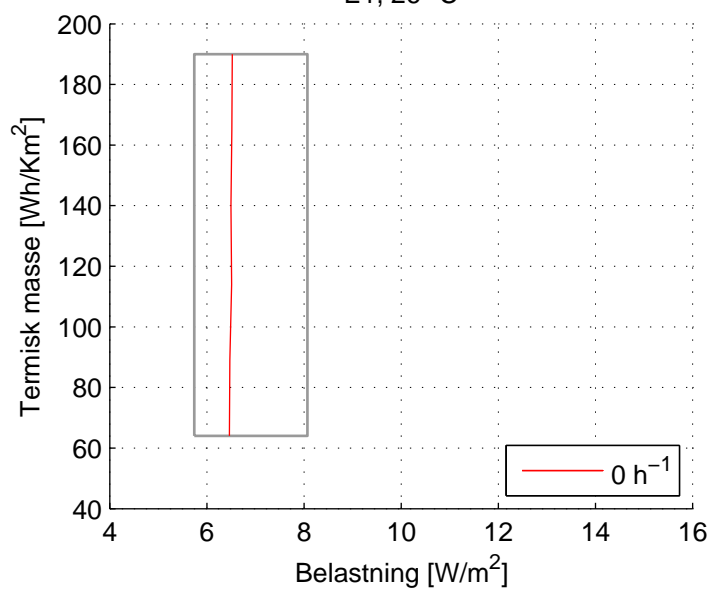
E2, 26 °C



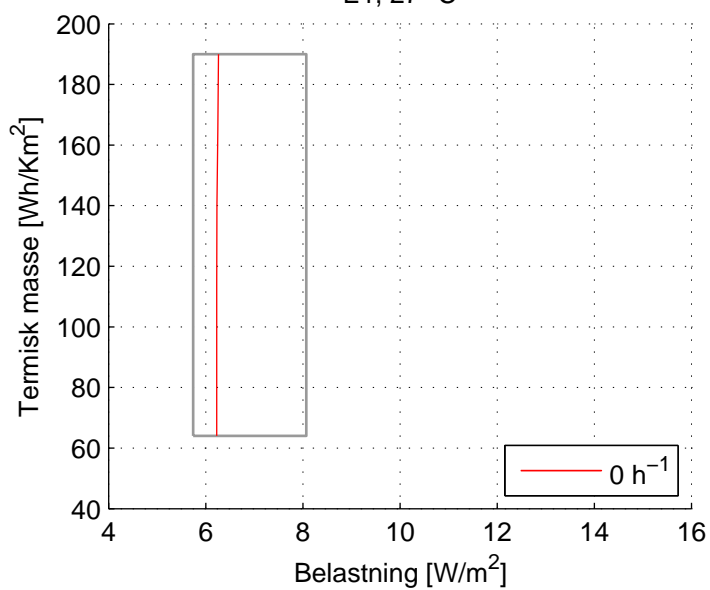
E2, 27 °C



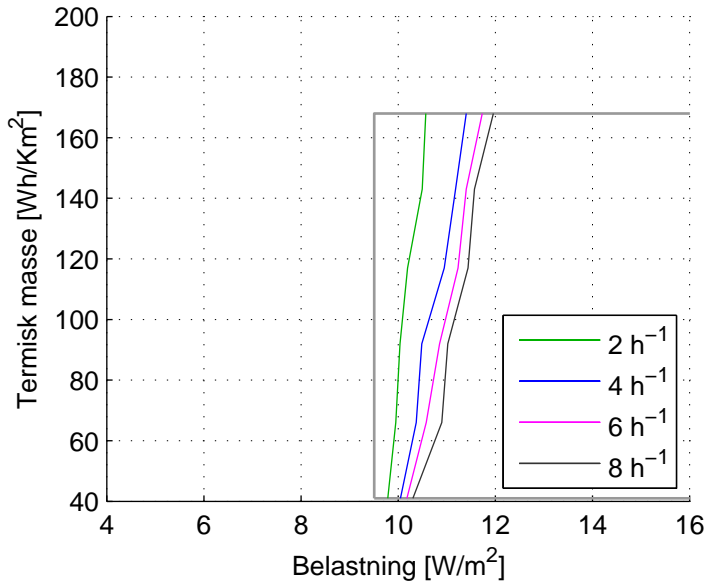
E1, 26 °C



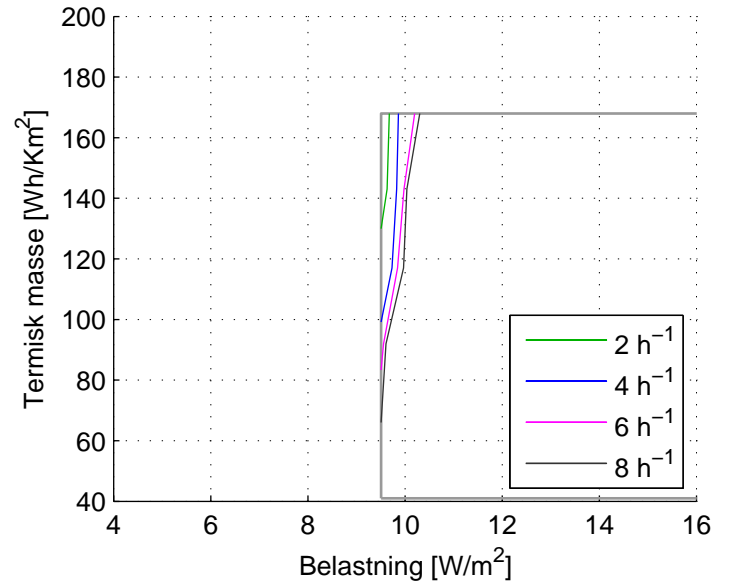
E1, 27 °C



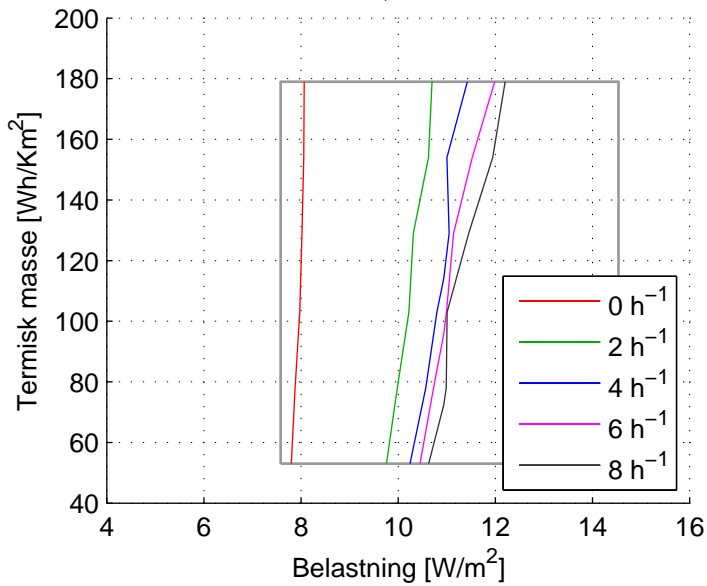
SE3, 26 °C



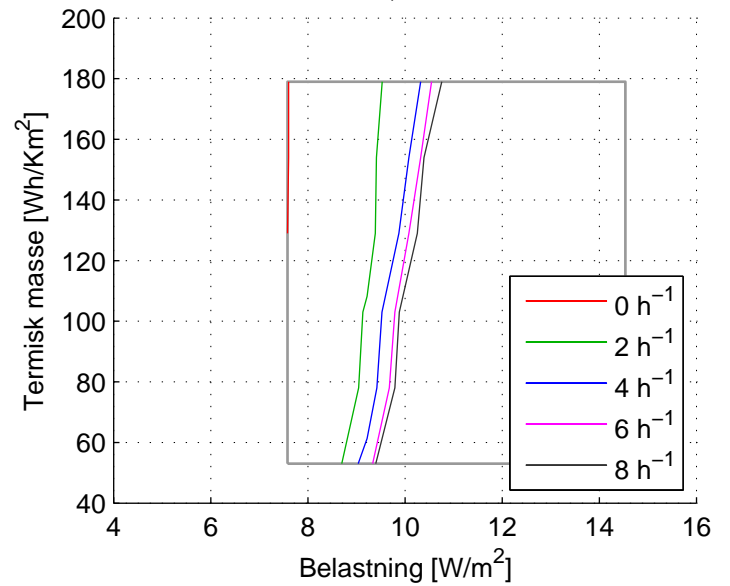
SE3, 27 °C



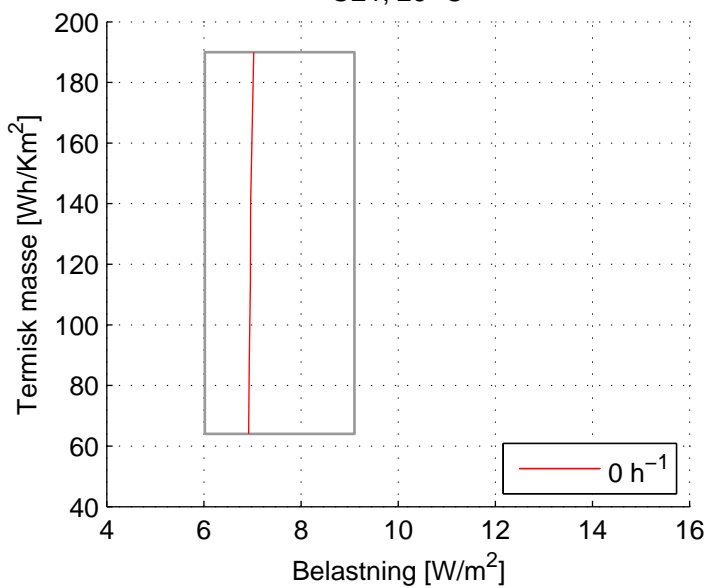
SE2, 26 °C



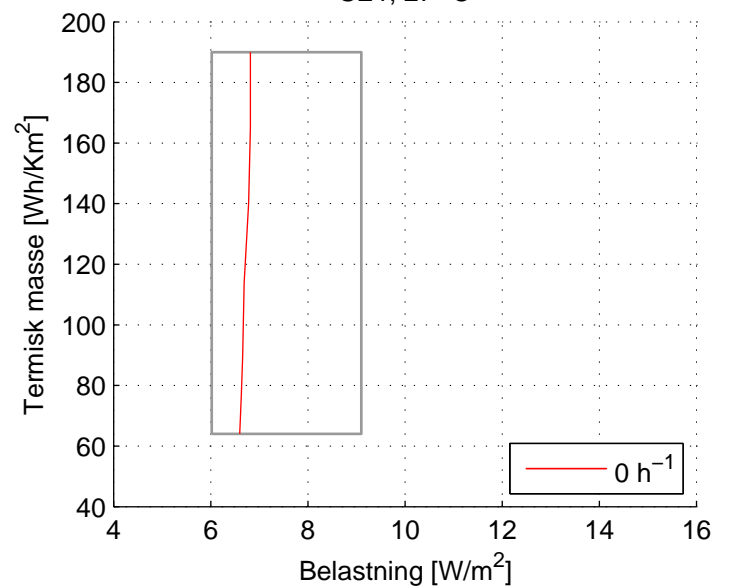
SE2, 27 °C



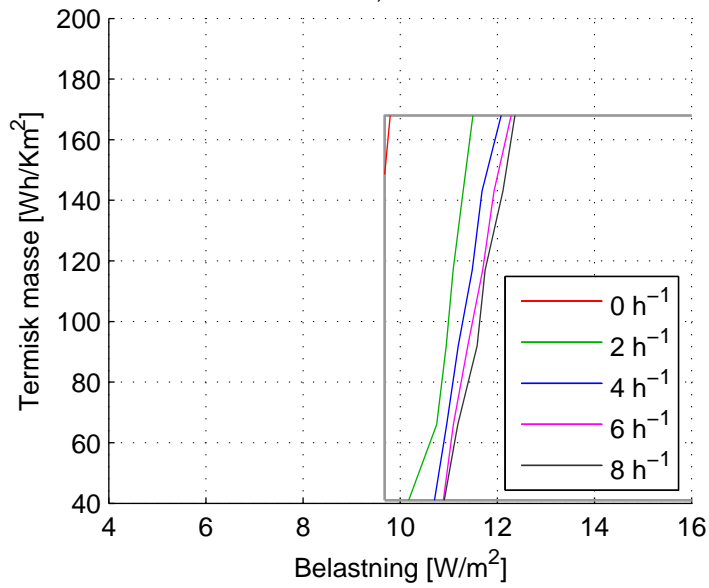
SE1, 26 °C



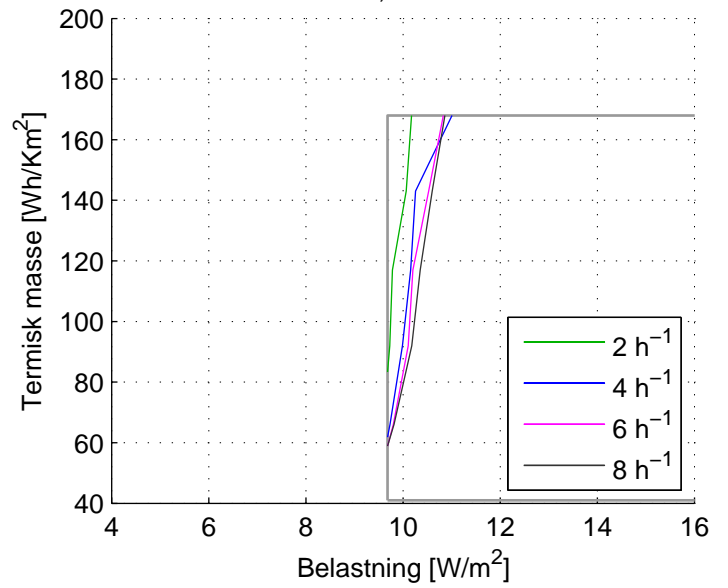
SE1, 27 °C



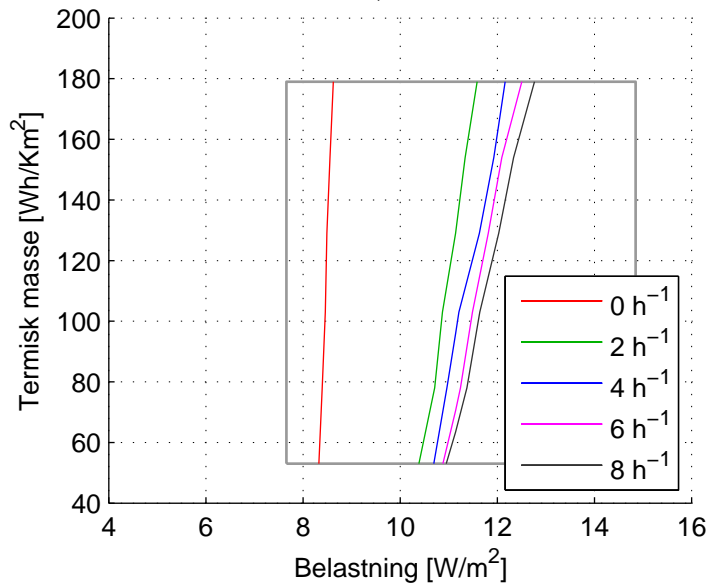
S3, 26 °C



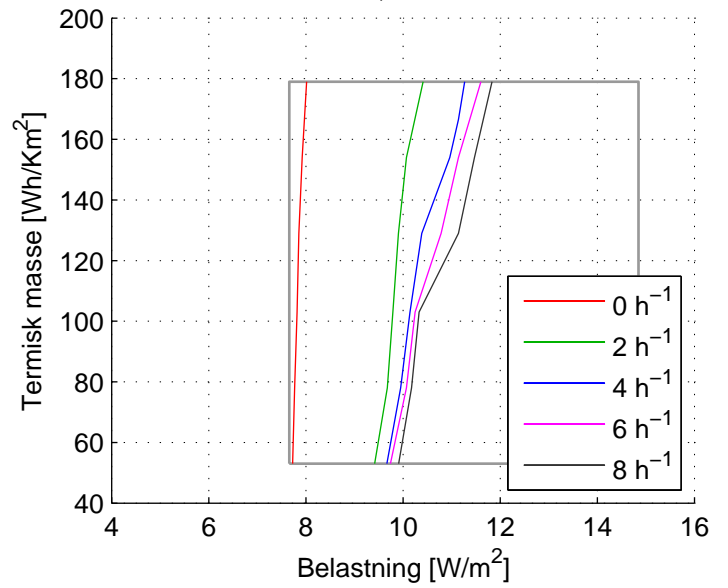
S3, 27 °C



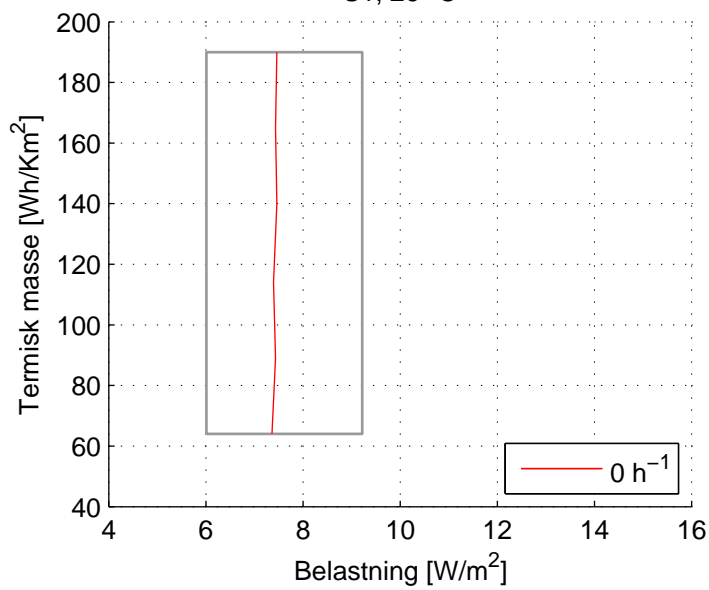
S2, 26 °C



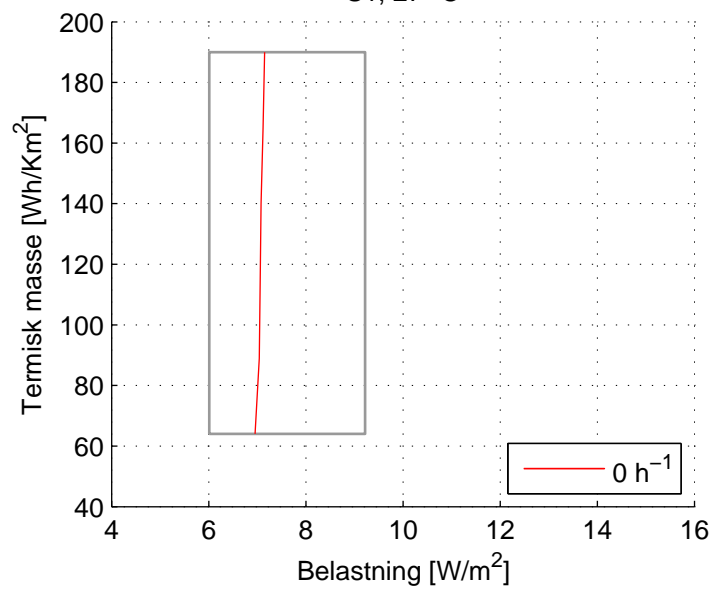
S2, 27 °C



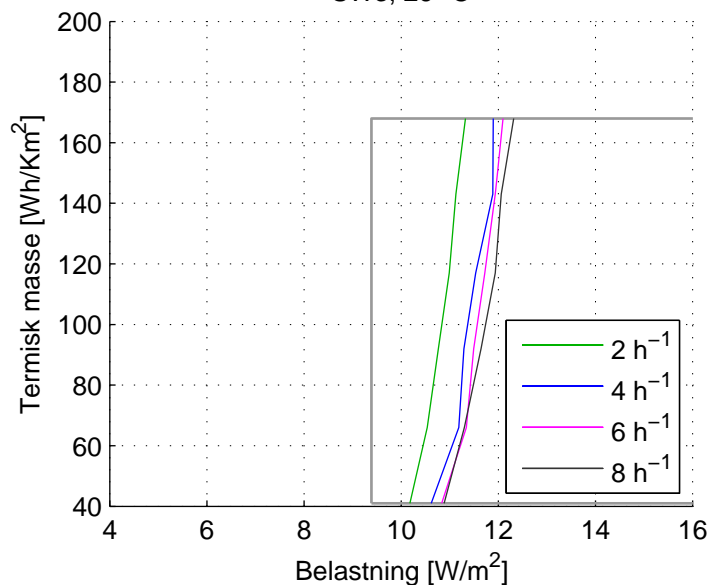
S1, 26 °C



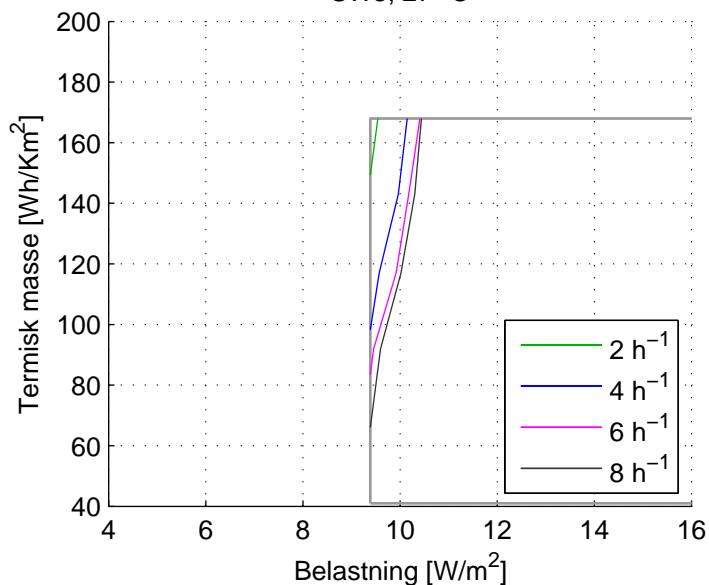
S1, 27 °C



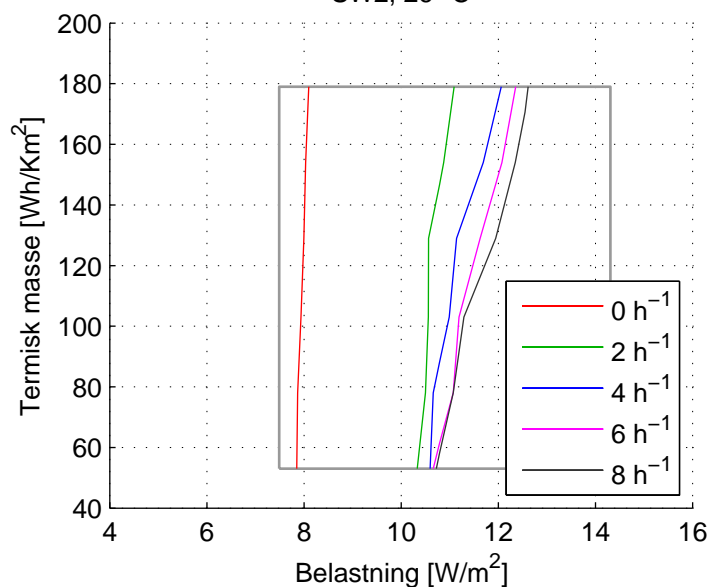
SW3, 26 °C



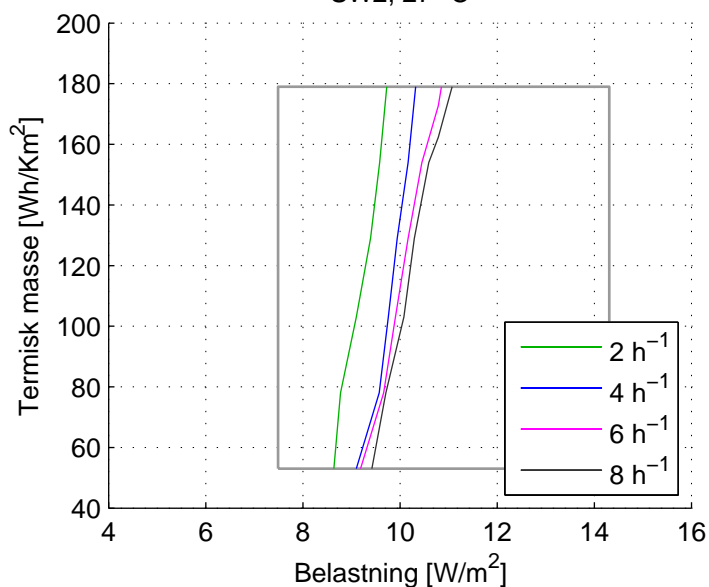
SW3, 27 °C



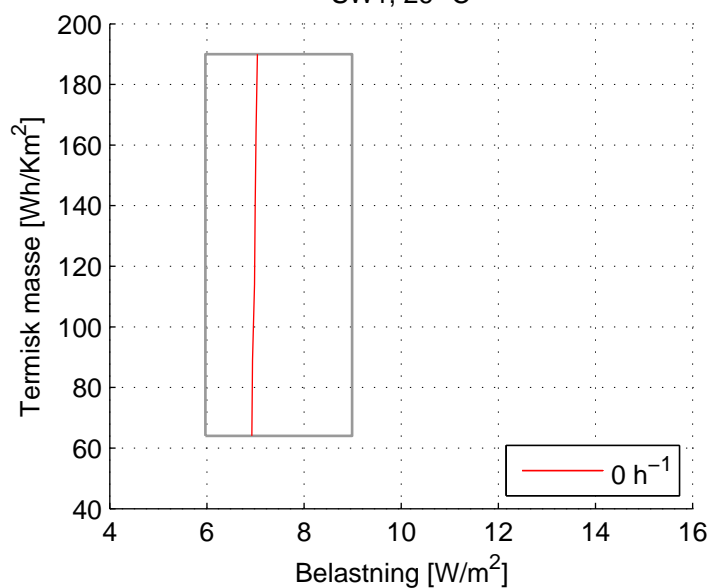
SW2, 26 °C



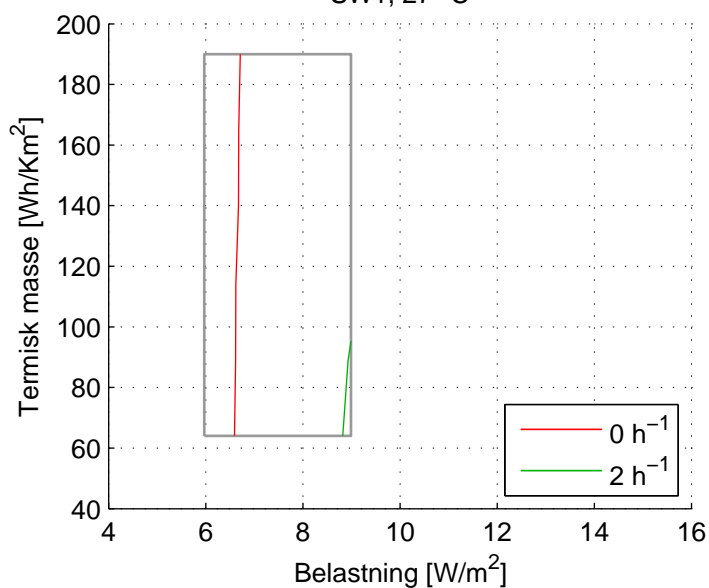
SW2, 27 °C



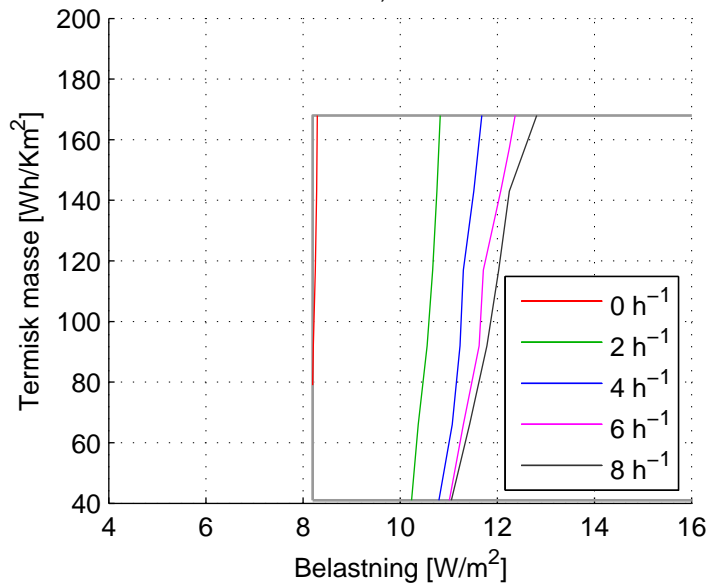
SW1, 26 °C



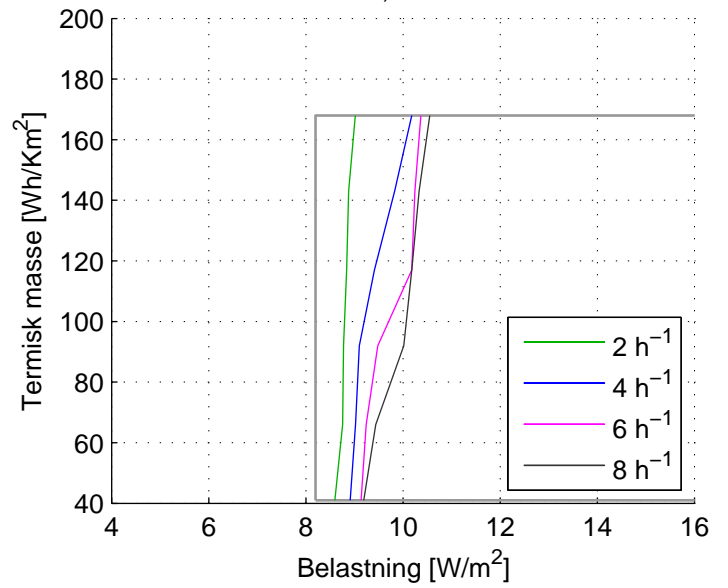
SW1, 27 °C



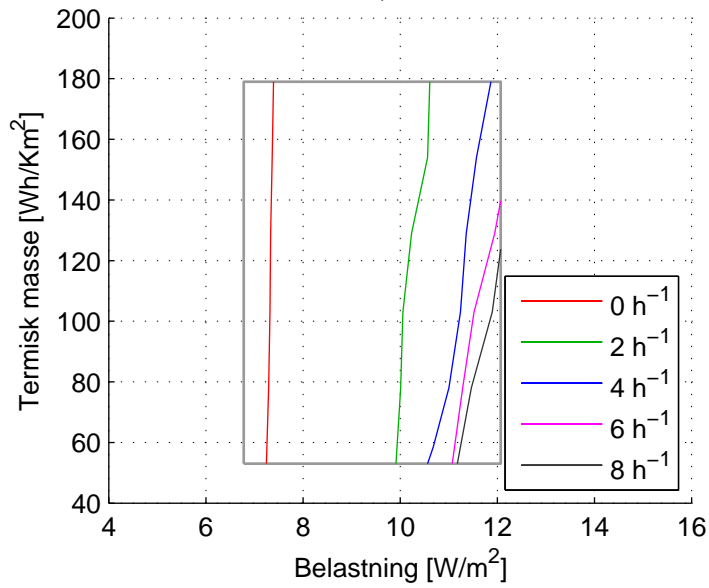
W3, 26 °C



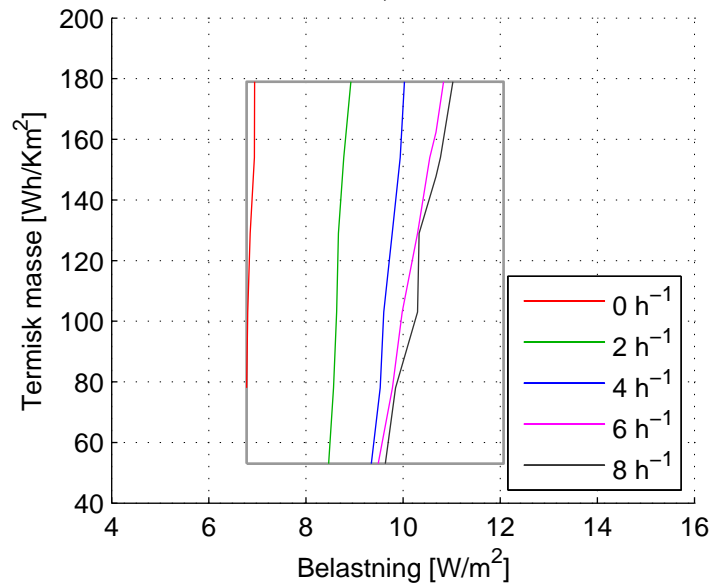
W3, 27 °C



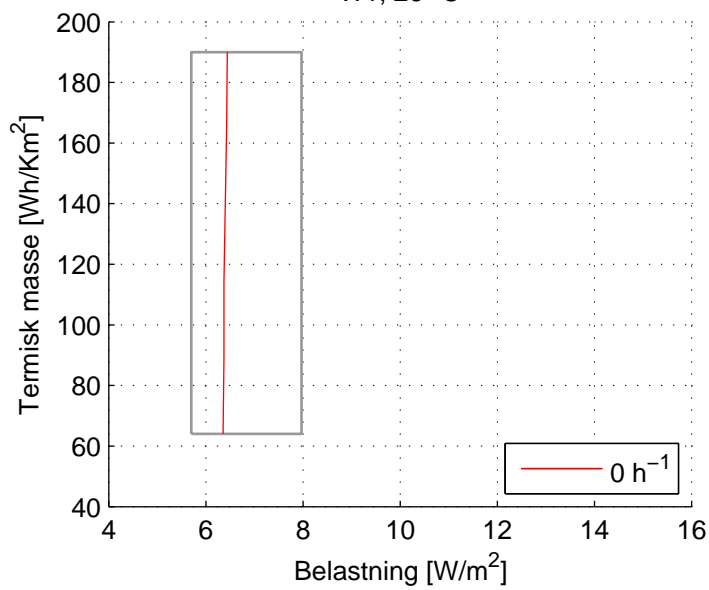
W2, 26 °C



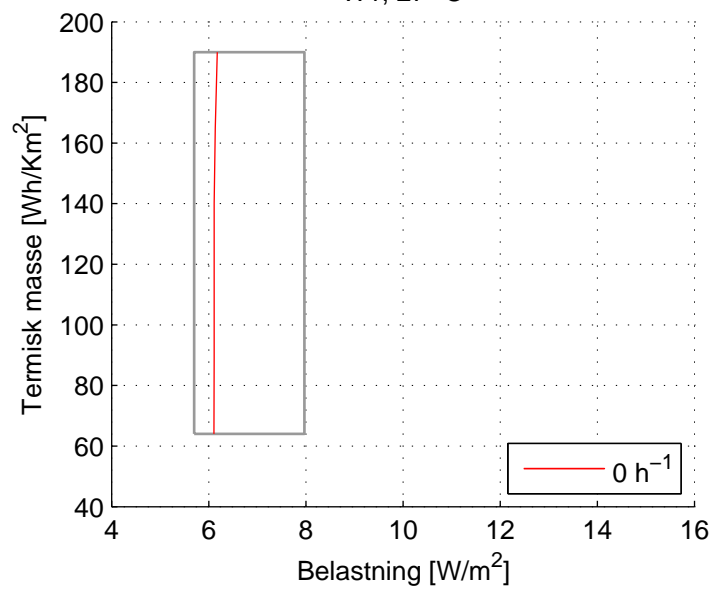
W2, 27 °C



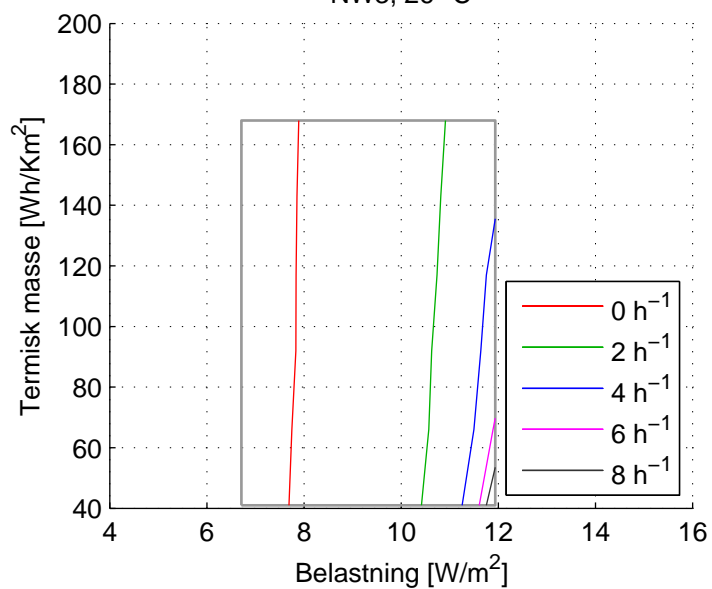
W1, 26 °C



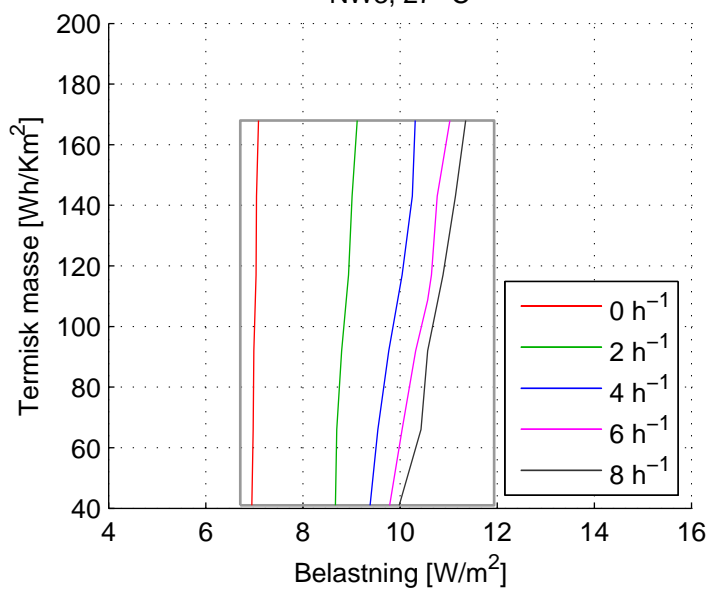
W1, 27 °C



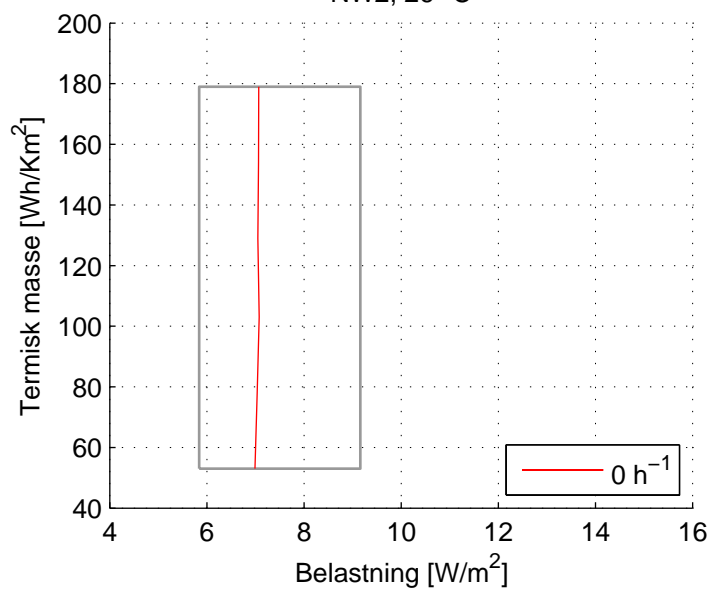
NW3, 26 °C



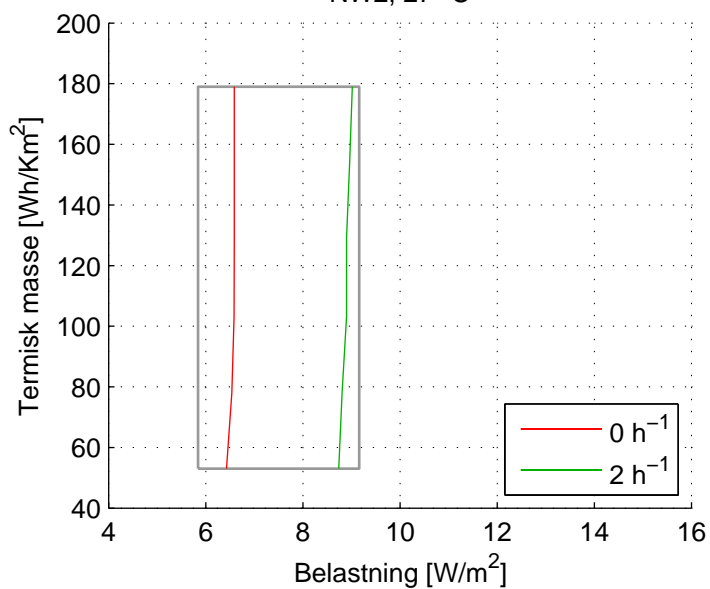
NW3, 27 °C



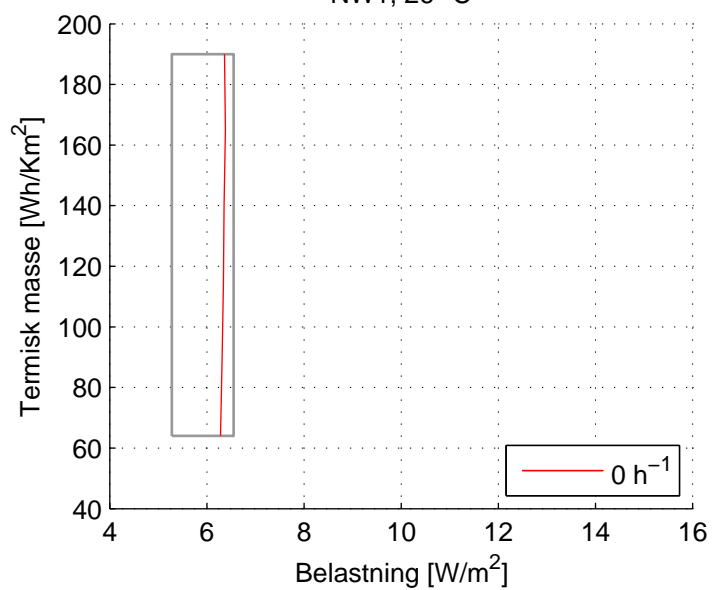
NW2, 26 °C



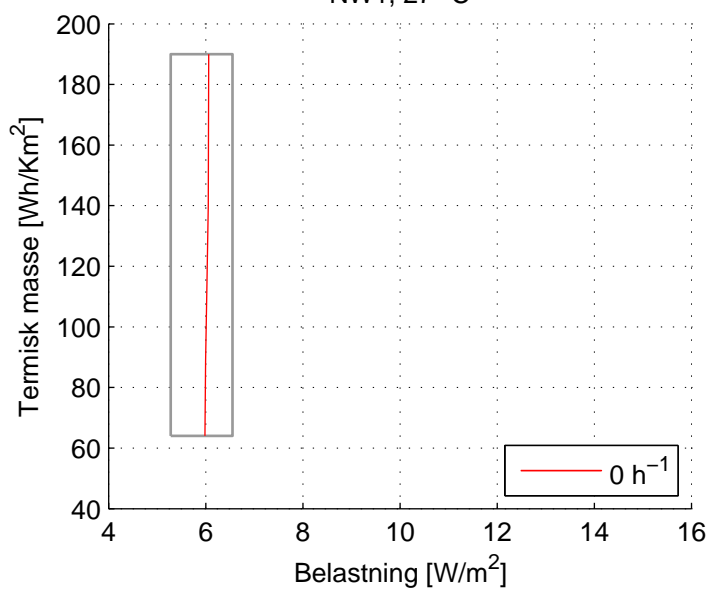
NW2, 27 °C



NW1, 26 °C

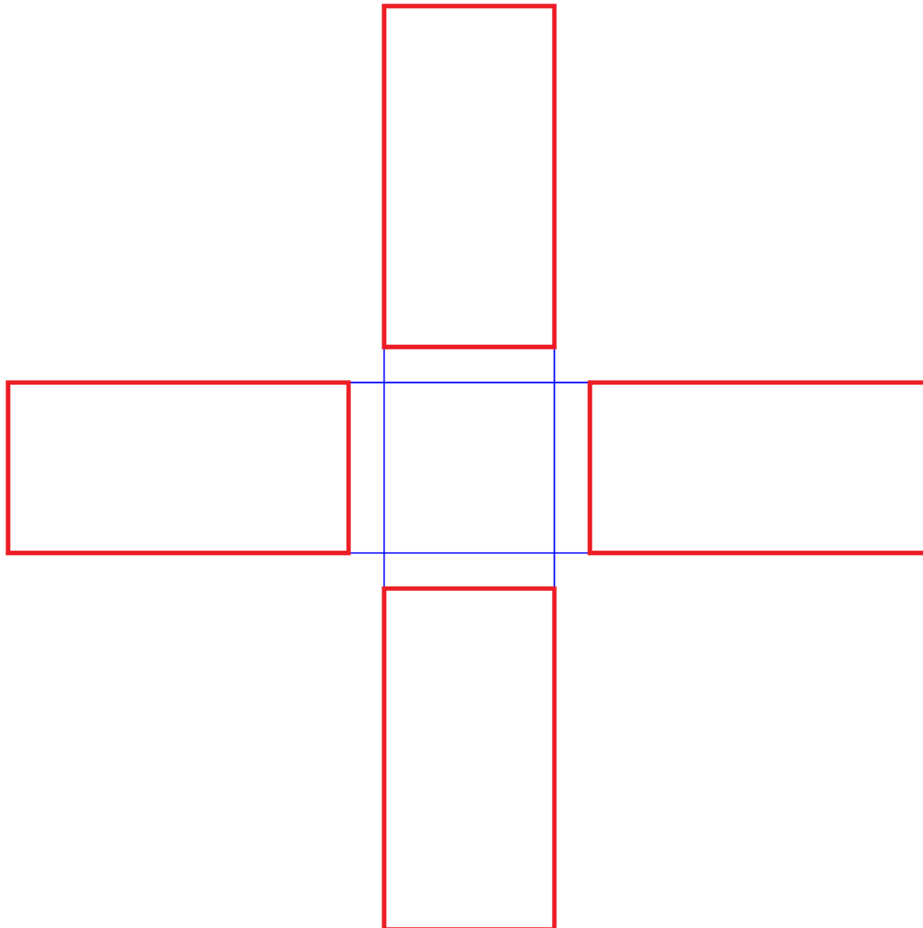


NW1, 27 °C



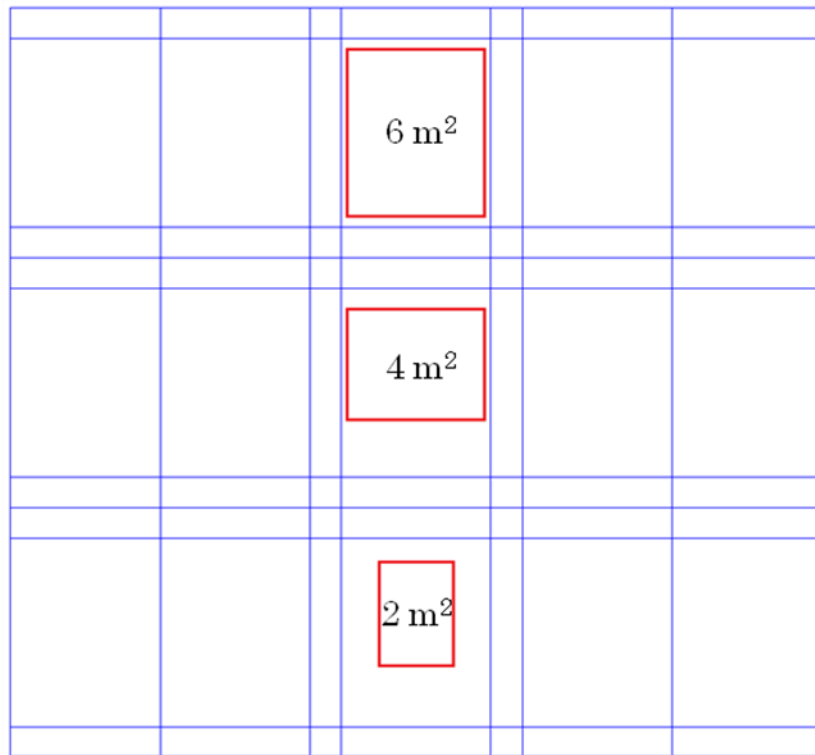
Modelbeskrivelse

I det følgende vil opbygningen af modellen til brug ved de nævnte simuleringer samt de tilhørende overvejelser blive gennemgået. Til at undersøge og evaluere energibesparelses- og indeklimaforbedringspotentialer af PCM opbygges en model med et kontor vendt mod hvert af de fire verdenshjørner, som vist på følgende figur. Hvert kontor vil i modellen blive modelleret som en termisk zone, så de ikke påvirker hinanden.

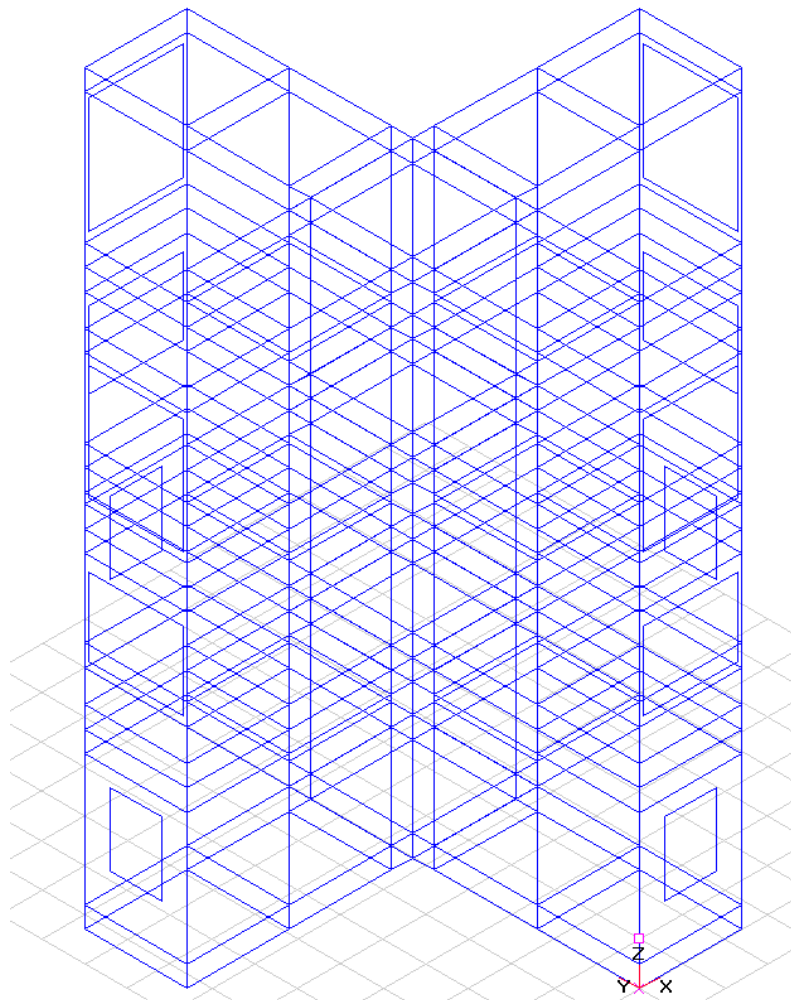


Endvidere vil denne model blive simuleret for både 0 og 45 grader, således at de i alt otte orienteringer undersøges. For at øge styrken af denne variation og opnå en grundigere evaluering af potentialer af PCM, opbygges modellen med tre vinduesstørrelser. Som med de fire orienteringer, er det valgt at implementere de tre vinduesstørrelser i den samme model, så løbende ændringer af parametre og lignende kun skal gøres dette ene sted fra simulering til simulering. Dette er gjort ved at udvide fra en etage til tre, som vist på nedenstående figur. Størrelserne af vinduerne er valgt således at det største fylder hele enden af kontoret (6 m^2) og derefter følger 4 m^2 og 2 m^2 .

Modellen er opbygget så det er muligt at dække alle orienteringer samt vinduesstørrelser ved hver simulering (se evt. modelbeskrivelsen). Dette resulterer i 150 cases, som kan ses i bilag E.



Modellen ser nu i sin helhed ud som vist på nedenstående figur:



I det følgende beskrives en række af de elementer som er indtastet i BSim. I den første tabel er informationen om de forskellige bygningskomponenter listet.

Emne	U-værdi	Materialer	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	c_p [J/kgK]
Ydervæg	0,17	Beton, 70 mm	2400	2,1	1000
		Isolering, 200 mm	21	0,037	800
		Beton, 150 mm	2400	2,1	1000
Etagedæk	0,67	Trægulv, 20 mm	950	0,14	1800
		Huldæk, 320 mm	1440	0,4	1000
		Isolering, 20 mm	21	0,037	800
Indervæg	0,46	2 lag gips, 30 mm	880	0,2	1000
		Isolering, 40 mm	21	0,037	800
		2 lag gips, 30 mm	880	0,2	1000
Vinduer	Glas: Ramme:	U-værdi: 1,1 Transmittans: 0,78 U-værdi: 1,8 Area: 20 % af murhul	-	-	-

I den næste tabel er kontorets systemer listet. Arbejdstid angiver mandag – fredag kl. 8 – 17, opvarmningssæson angiver september – maj.

System	Beskrivelse	Tidsplaner (schedule)	
		Regulering	Tidsangivelse
Personlast	1 person, standard	80 % tilstede	Arbejdstid
Udstyr	60 W	100 % tændt	Arbejdstid
Infiltration	Luftskifte 0,12 h ⁻¹	100 % 63 %	Arbejdstid Altid
Belysning	Almen belysning 90 W Arbejdslys 7 W Dagslysfaktor 3 % Lysstofrør (Fluorescent)	Dagslysregulering Ønsket 200 lux Kontinuert	Arbejdstid
Opvarmning	MaxPow 1 kW	Set Point 20°C	Opvarmningssæson
Ventilation	<u>Input</u> Supply 0,02 m ³ /s Pressure Rise 0 Pa <u>Output</u> Return 0,02 m ³ /s Pressure Rise 0 Pa <u>Recovery Unit</u> Max Heat Rec 0 <u>Heating Coil</u> Max Power 0 kW	Tin1 on line 18 °C Tin2 on line 18 °C	Arbejdstid
Udluftning	Luftskifte 2 h ⁻¹	SetPoint 26 °C SetPoint 22 °C	Arbejdstid Altid

Referencepunktet til beregning af dagslysfaktoren er valgt placeret i midten af rummets plan i bordhøjde (0,85 m)

Beregningen af luftmængden på 20 l/s kan ses i bilag F.

Litteraturliste

Andersen, Heiselberg og Aggerholm, 2002. Karl T. Andersen, Per Heiselberg og Søren Aggerholm. *Naturlig ventilation i erhvervsbygninger - By og Byg Anvisning 202*. ISBN: 87-563-1128-1, 1. udgave. Statens Byggeforskningsinstitut, 2002.

Dansk Standard, 1993. Dansk Standard. *DS474 - Norm for specifikation af termisk indeklime*. 1. udgave. Dansk Standard, 1993.

European committee for standardization, 1998. European committee for standardization. *CR 1752 Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment*. European committee for standardization, 1998.

European Standard, 2005. European Standard. *EN ISO 13786 - Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculations methods*. European Committee for standardization, 2005.

Rose, Lahme, Christensen, Heiselberg, Hansen og Sørensen, 2009. Jørgen Rose, Andreas Lahme, Niels U. Christensen, Per Heiselberg, Magne Hansen og Karl G. Sørensen. *Numerical method for calculating latent heat storage in constructions containing phase change material*. Building Simulation, 2009.

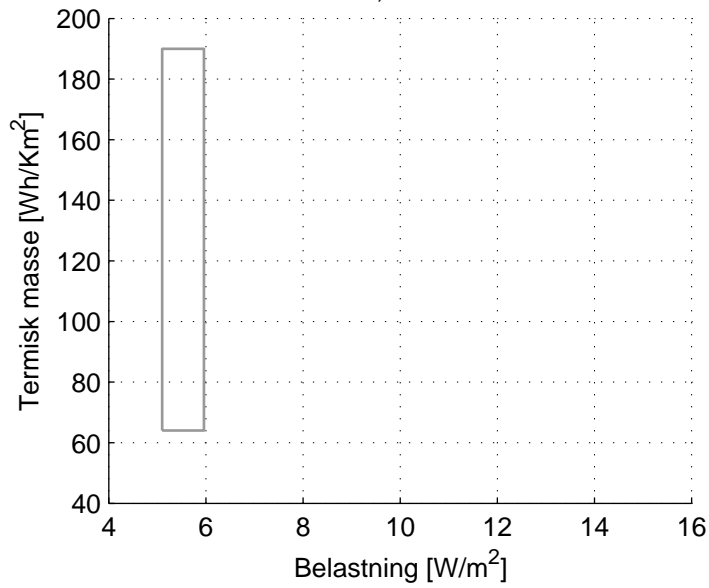
Steen-Thøde, Hyldgård og Funch, 2001. Mogens Steen-Thøde, Carl Erik Hyldgård og E.J. Funch. *Grundlæggende klimateknik og bygningsfysik*. ISSN 1395-8232 U9714, 3. udgave. Aalborg Universitet, 2001.

Wittchen, Johnsen, Sørensen og Rose, 2008. Kim B. Wittchen, Kjeld Johnsen, Karl G. Sørensen, Jørgen Rose. *BSim – Brugervejledning*, 9. udgave. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2008.

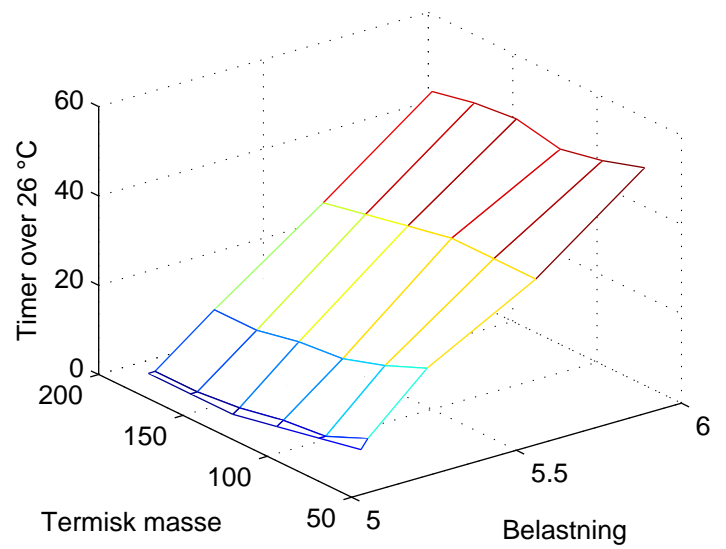
Bilag A

Delresultater

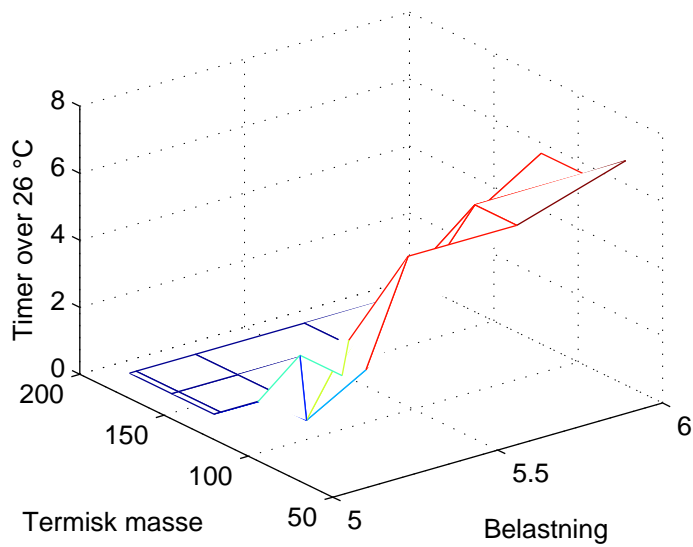
N1, 26 °C



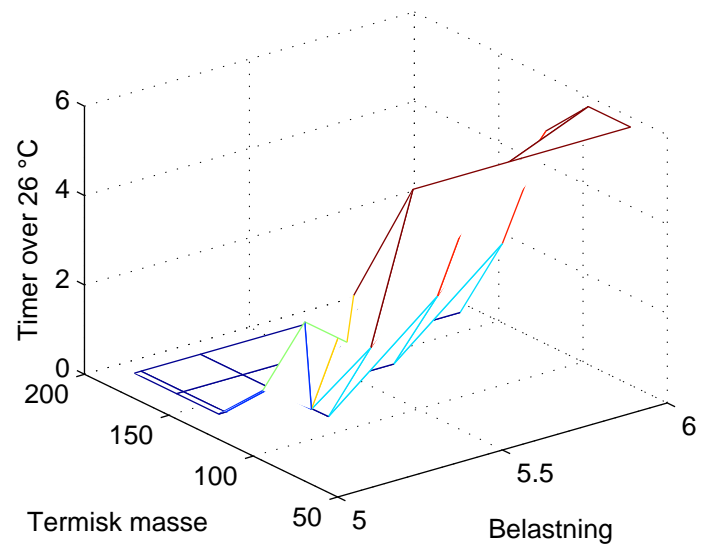
N1, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



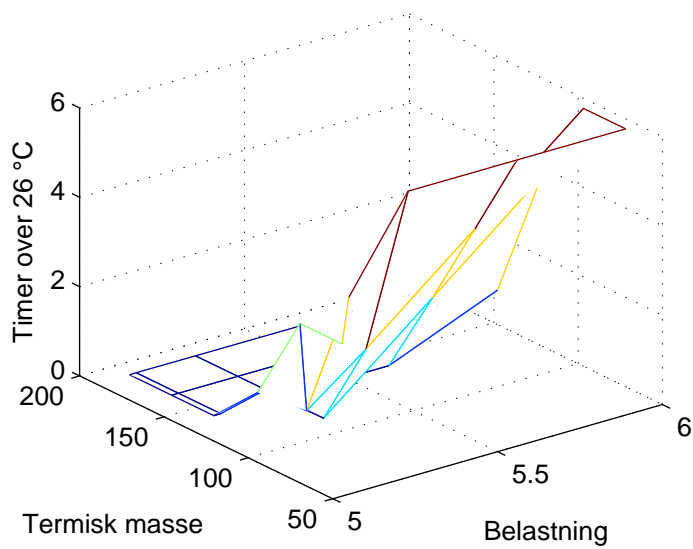
N1, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



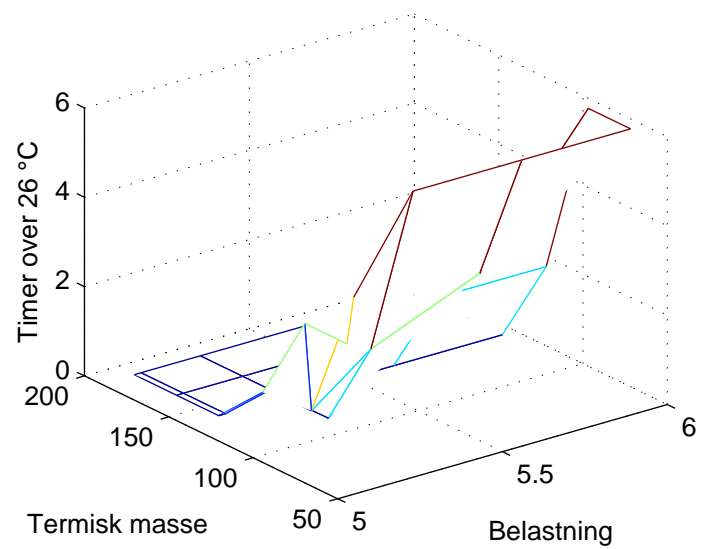
N1, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



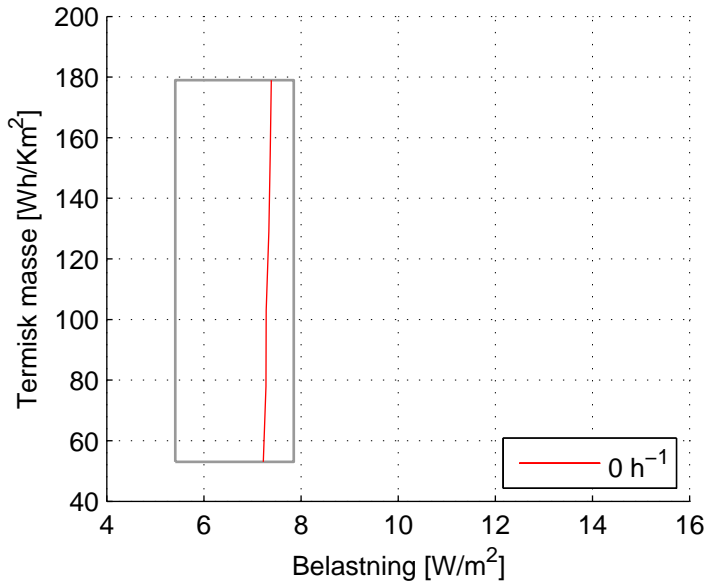
N1, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



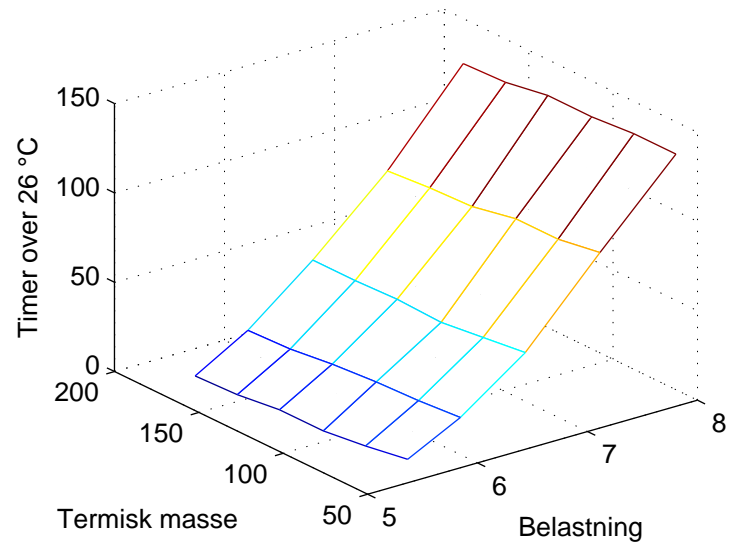
N1, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



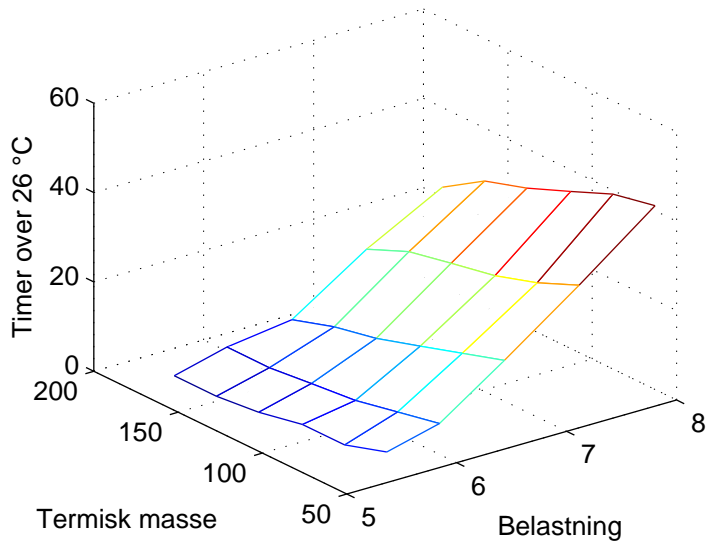
N2, 26 °C



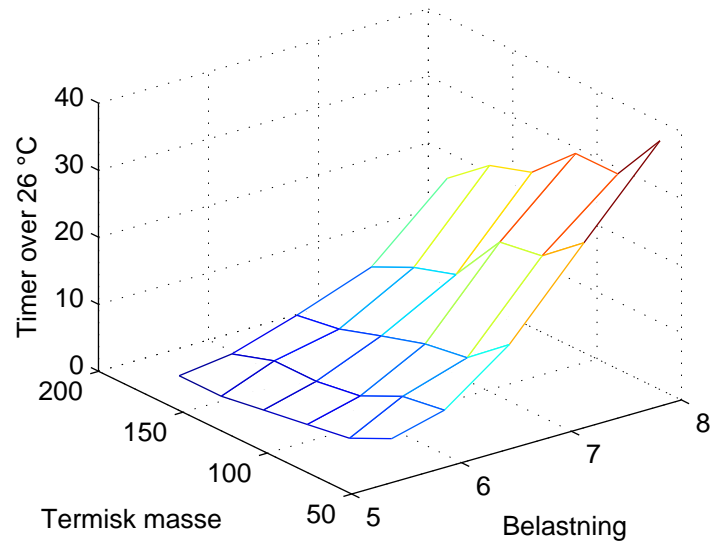
N2, n = 0 h⁻¹, 26 °C



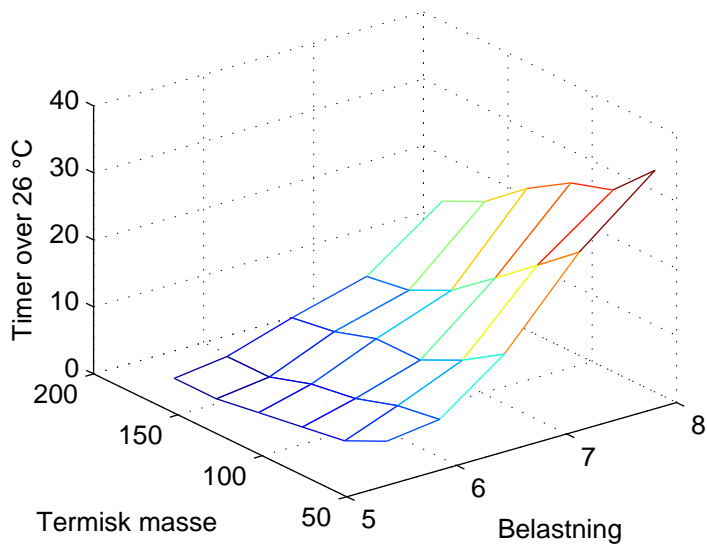
N2, n = 2 h⁻¹, 26 °C



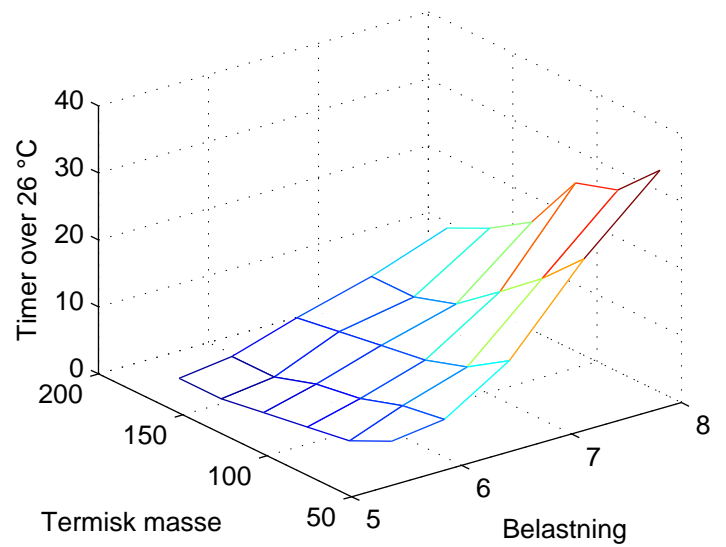
N2, n = 4 h⁻¹, 26 °C



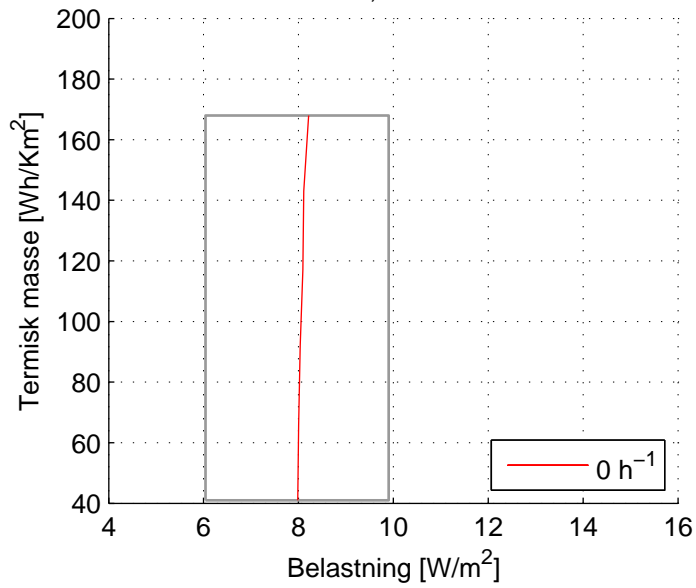
N2, n = 6 h⁻¹, 26 °C



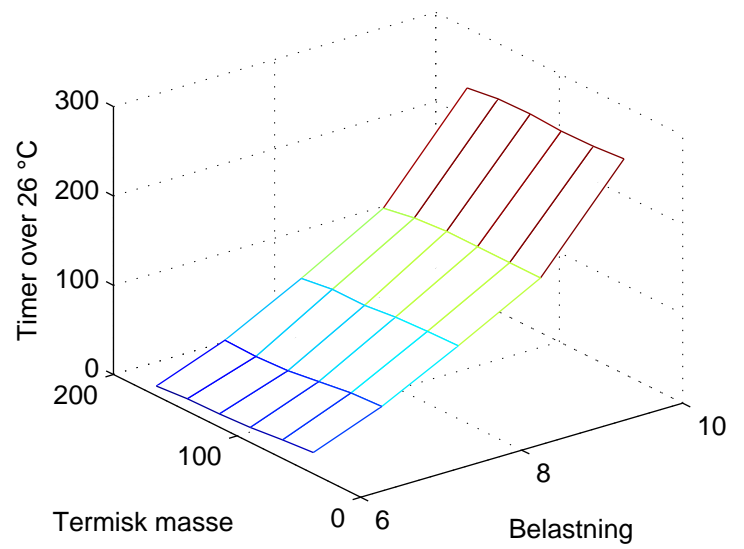
N2, n = 8 h⁻¹, 26 °C



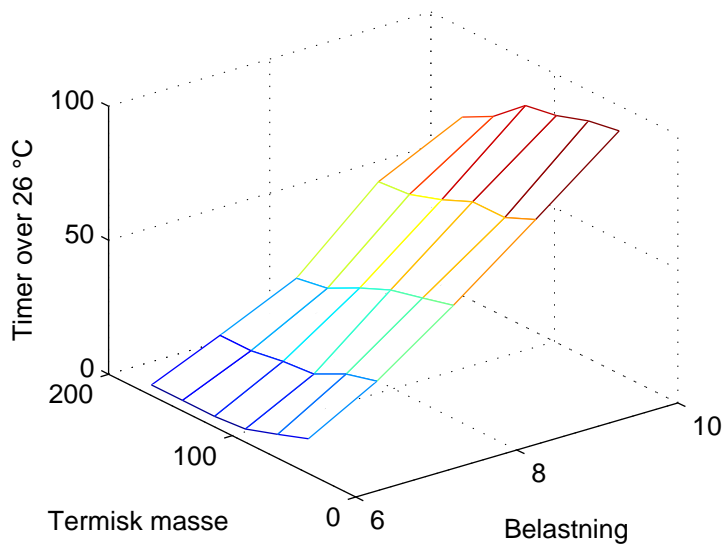
N3, 26 °C



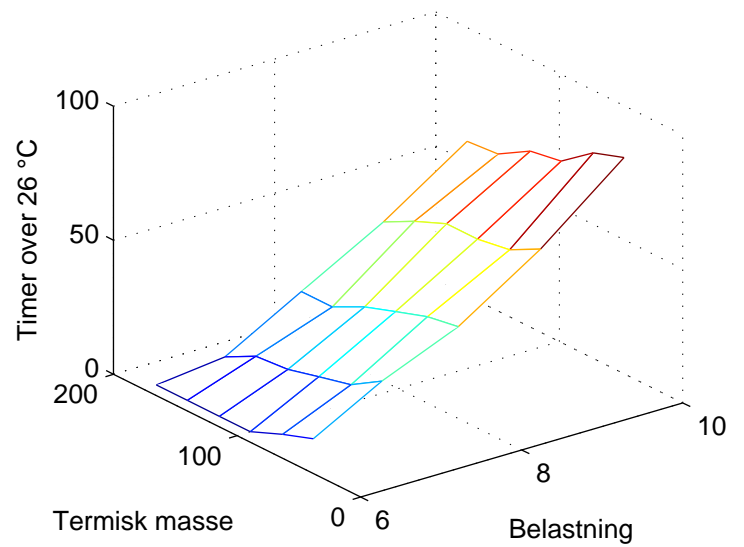
N3, n = 0 h⁻¹, 26 °C



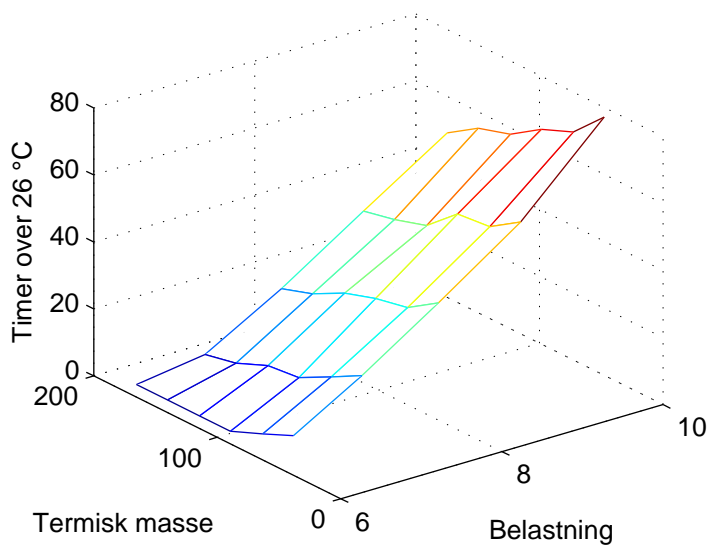
N3, n = 2 h⁻¹, 26 °C



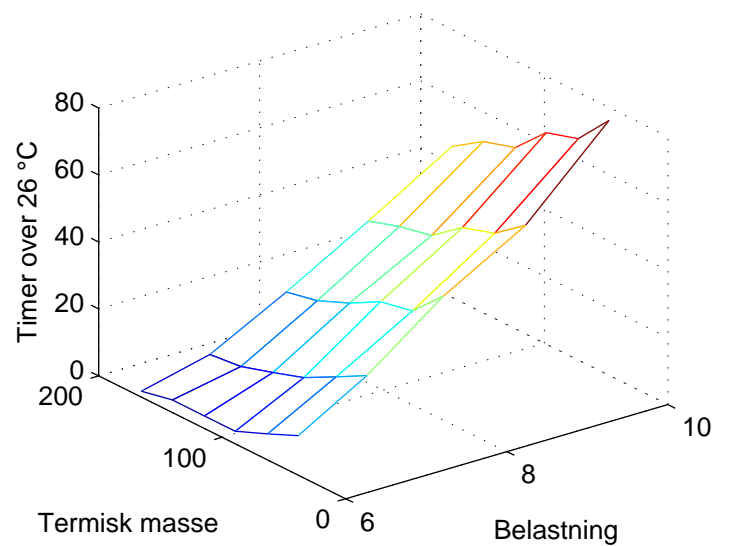
N3, n = 4 h⁻¹, 26 °C



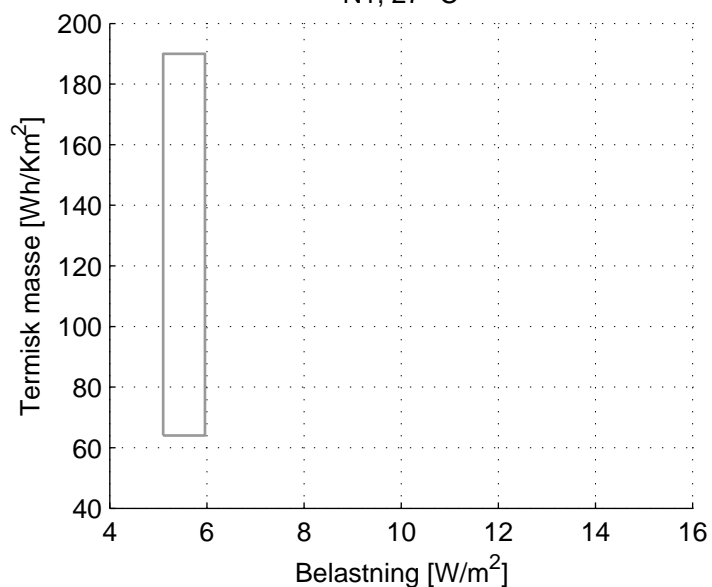
N3, n = 6 h⁻¹, 26 °C



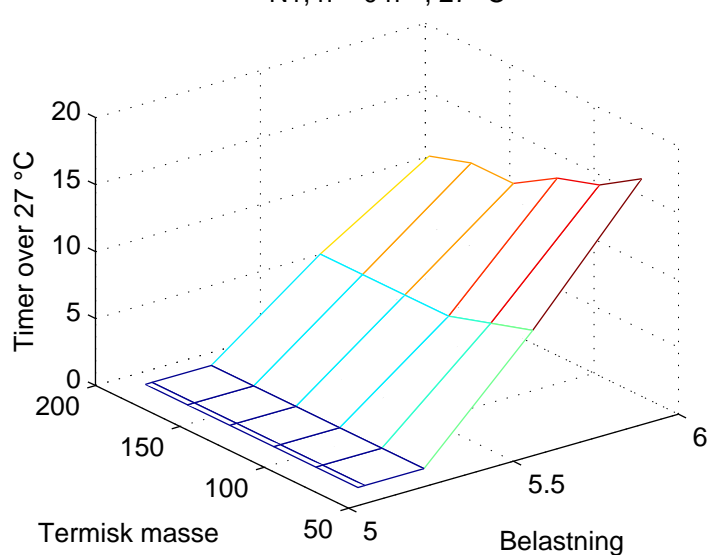
N3, n = 8 h⁻¹, 26 °C



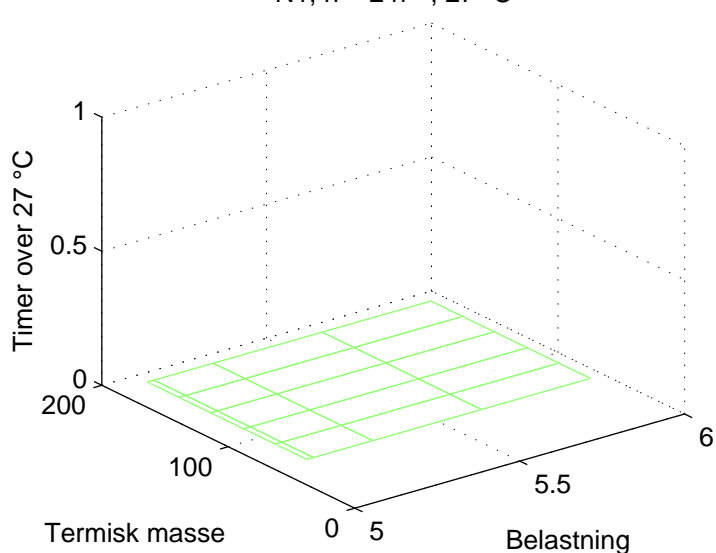
N1, 27 °C



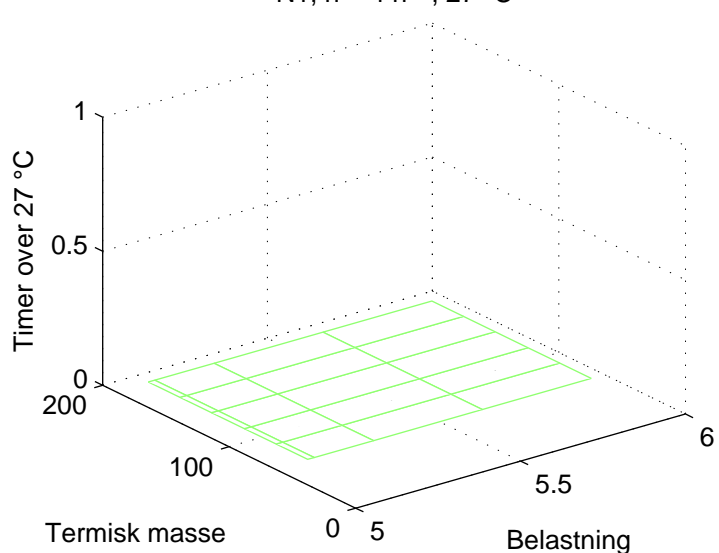
N1, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



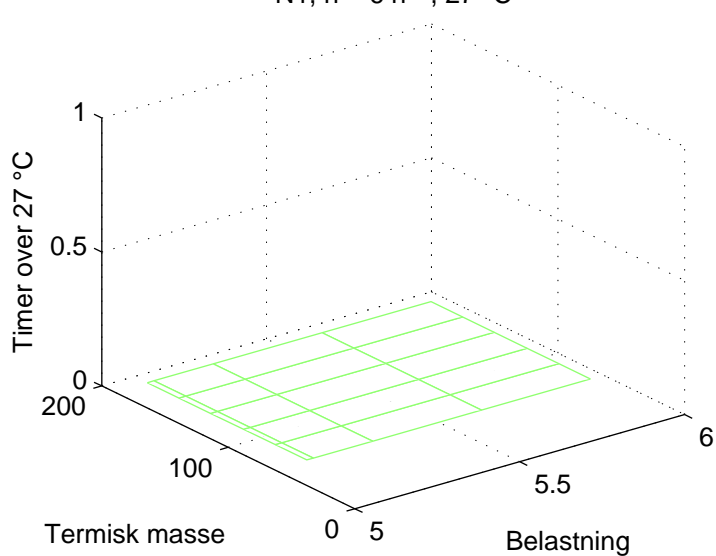
N1, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



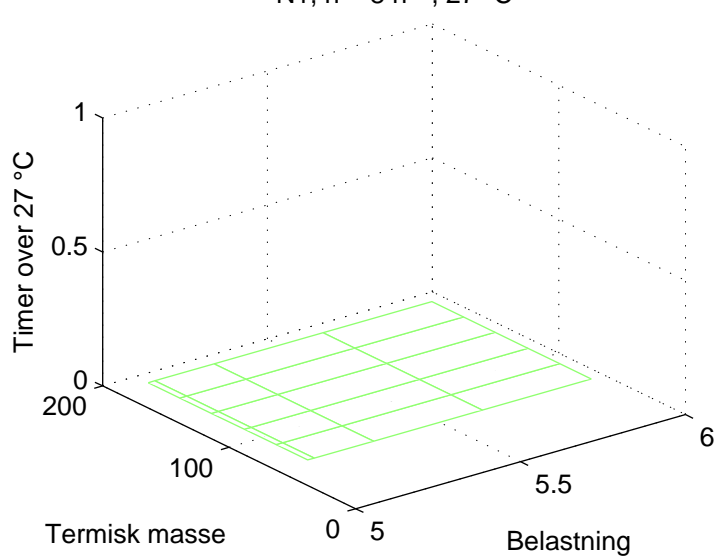
N1, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



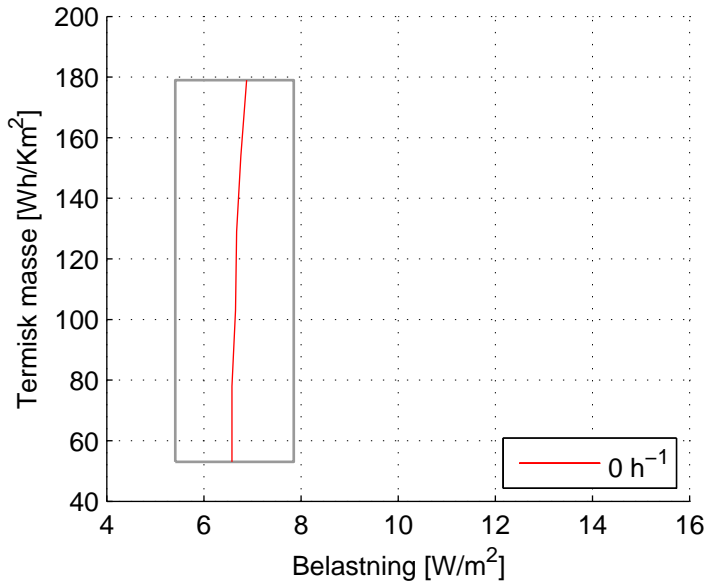
N1, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



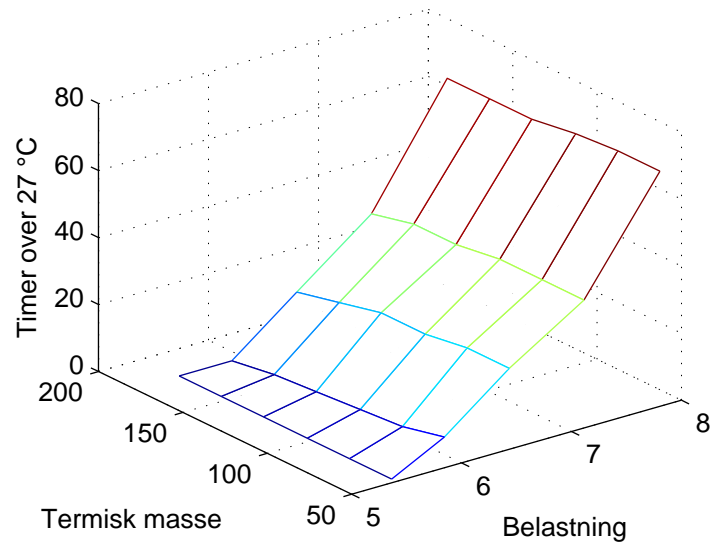
N1, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



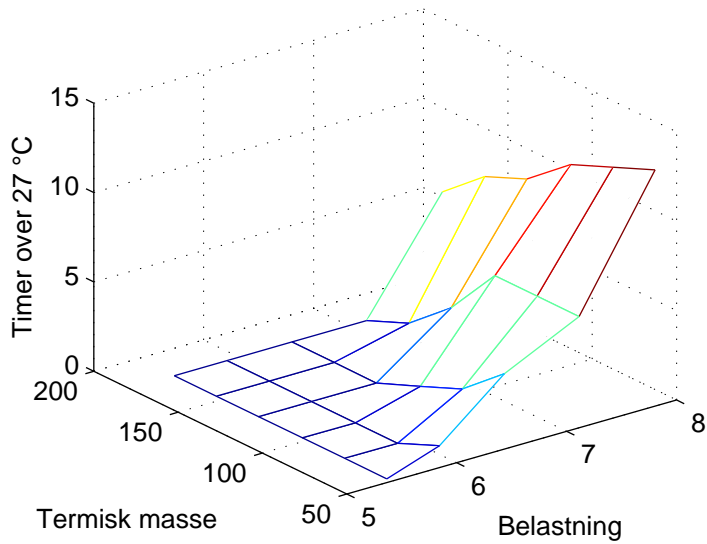
N2, 27 °C



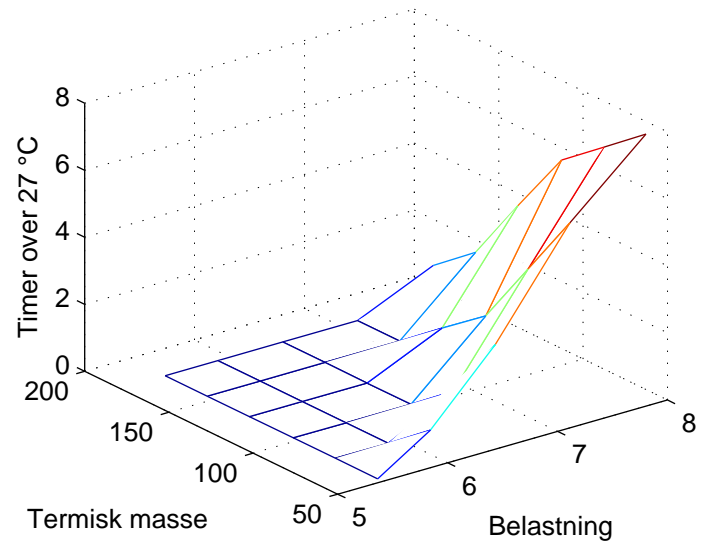
N2, n = 0 h⁻¹, 27 °C



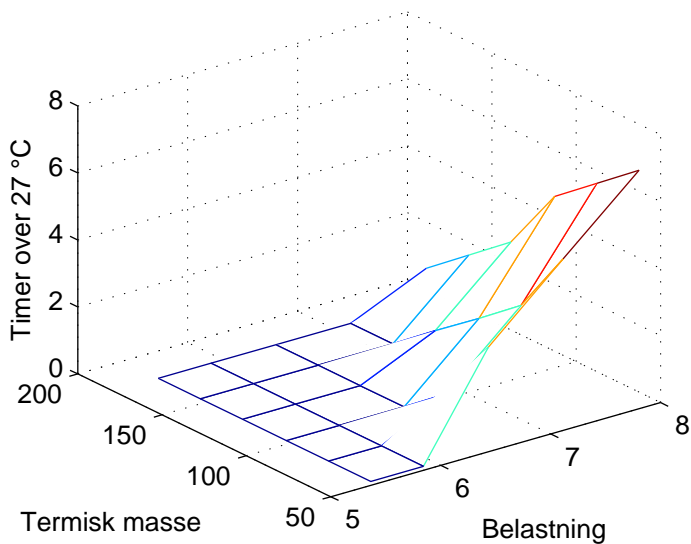
N2, n = 2 h⁻¹, 27 °C



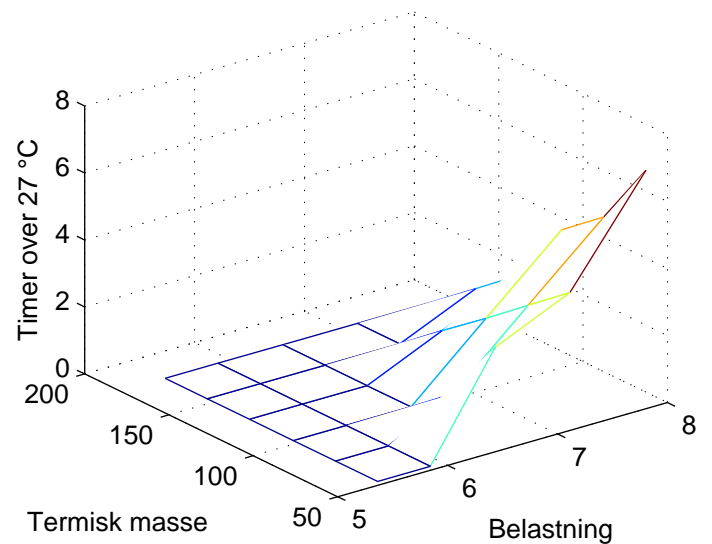
N2, n = 4 h⁻¹, 27 °C



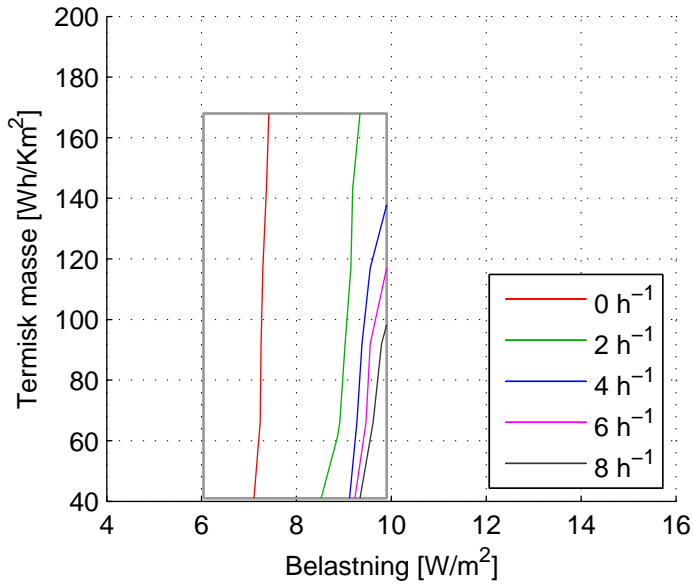
N2, n = 6 h⁻¹, 27 °C



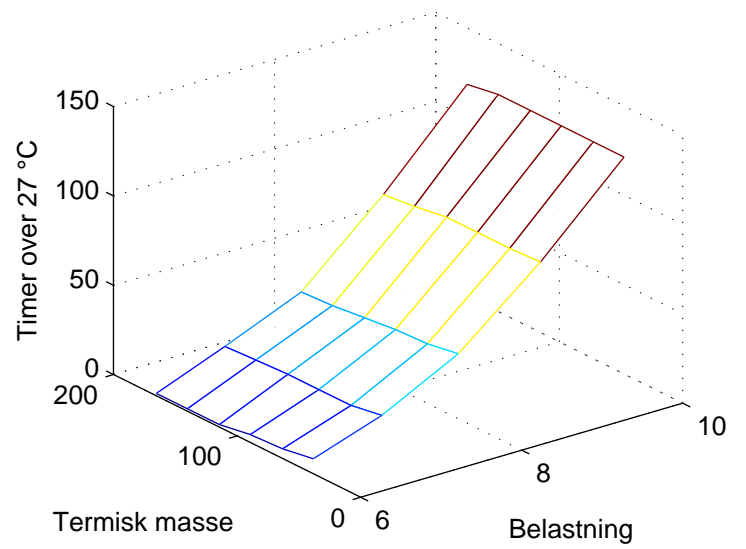
N2, n = 8 h⁻¹, 27 °C



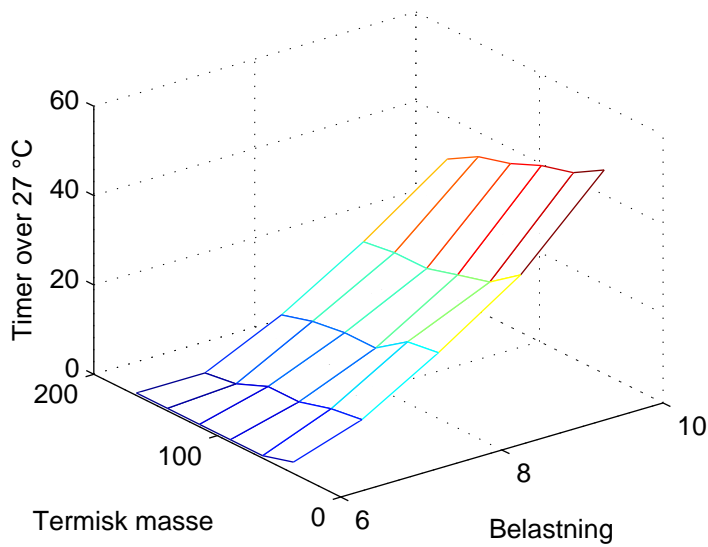
N3, 27 °C



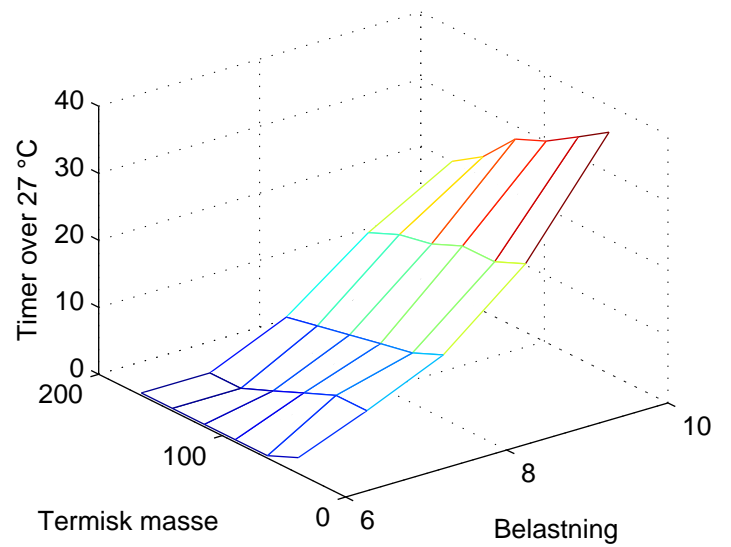
N3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



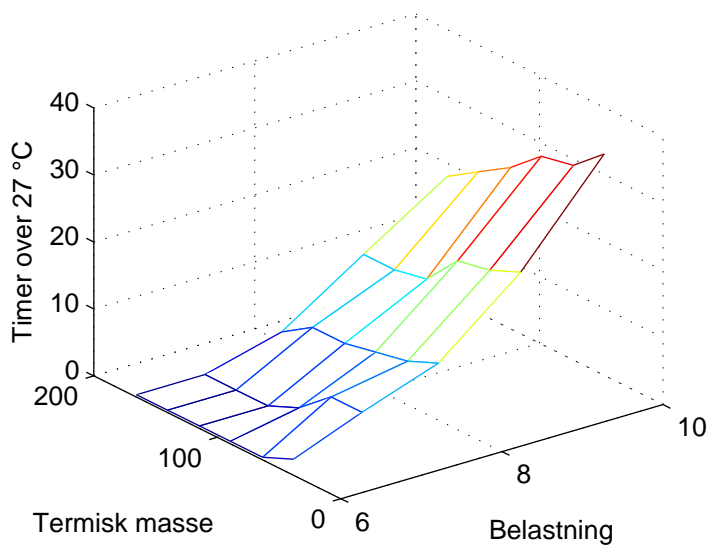
N3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



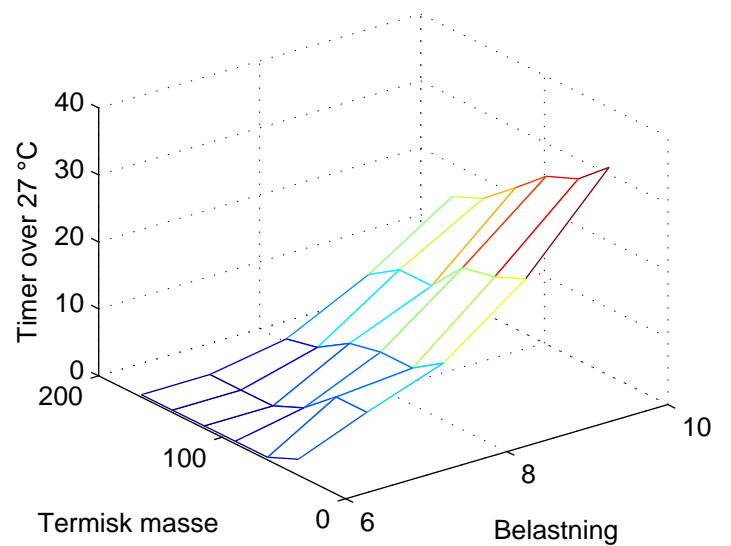
N3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



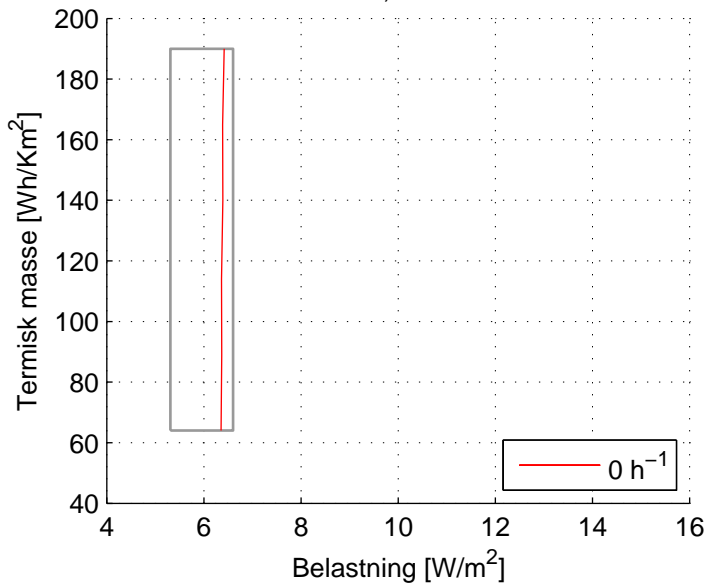
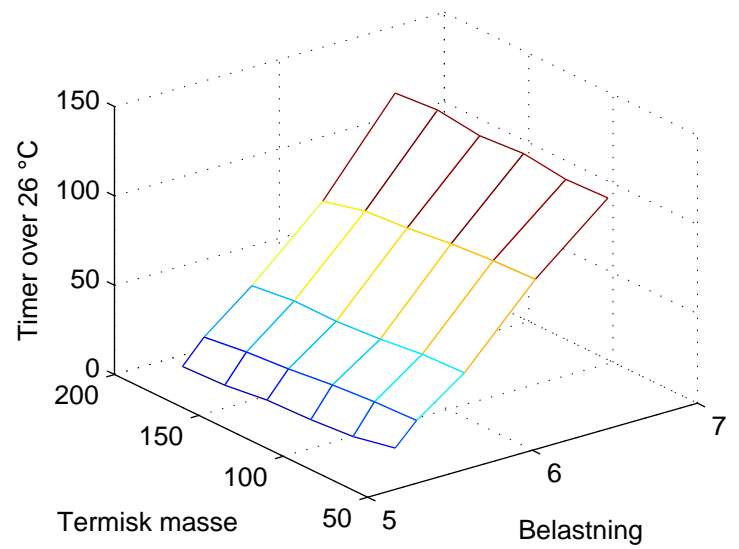
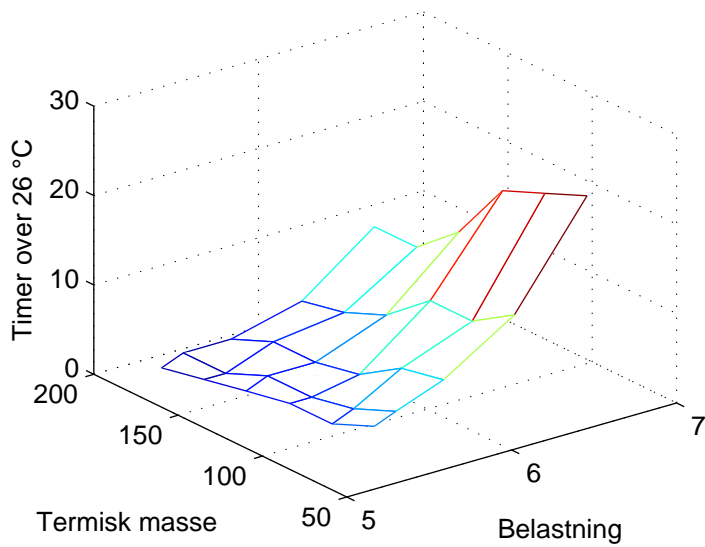
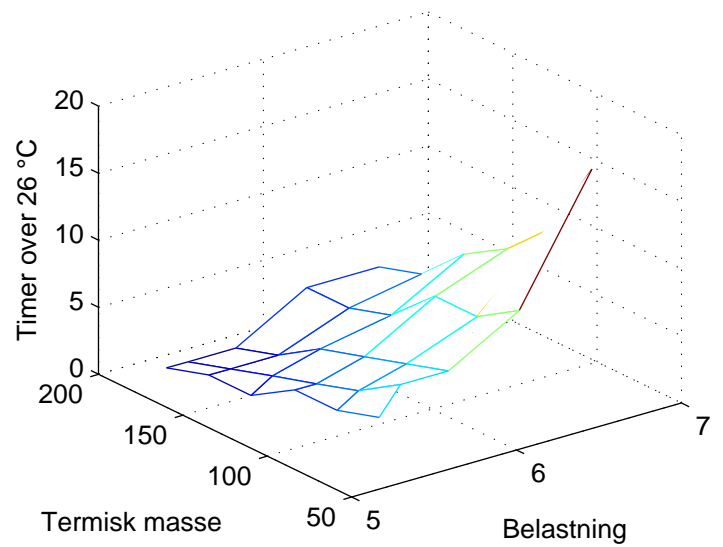
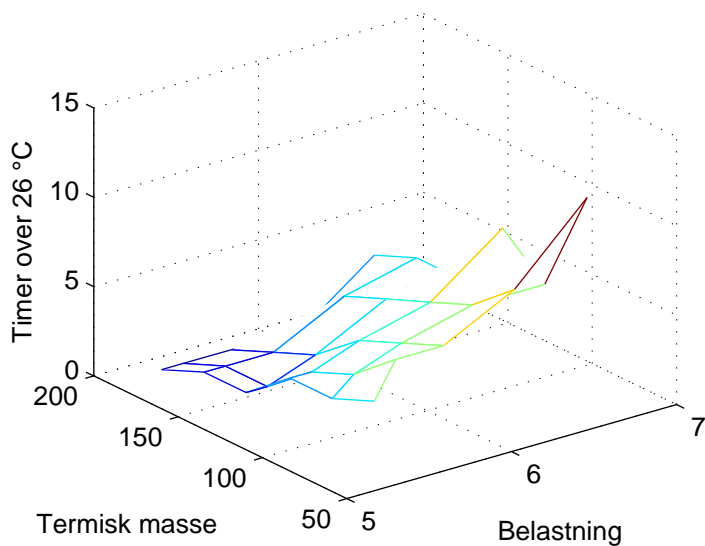
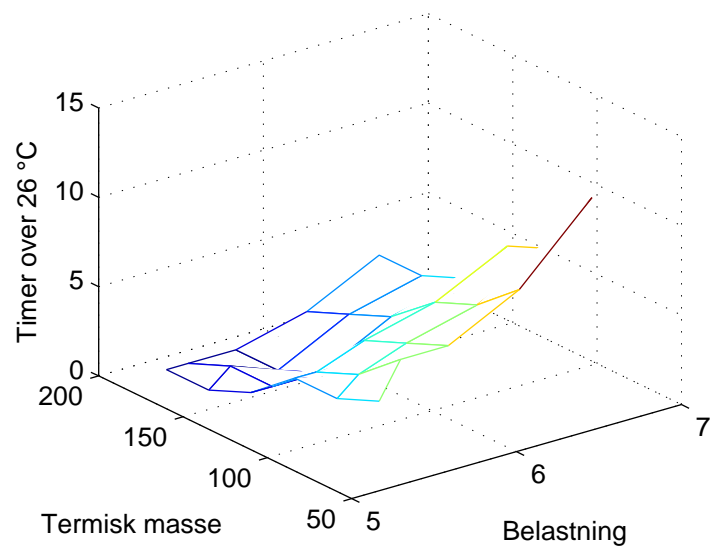
N3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



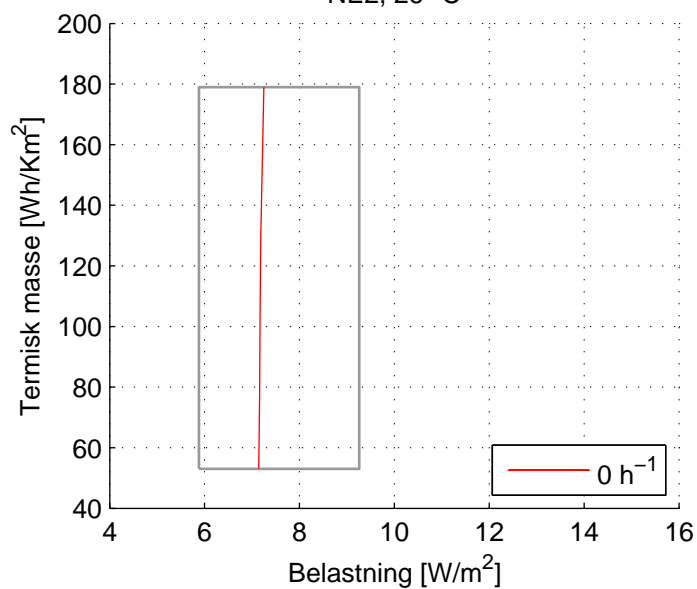
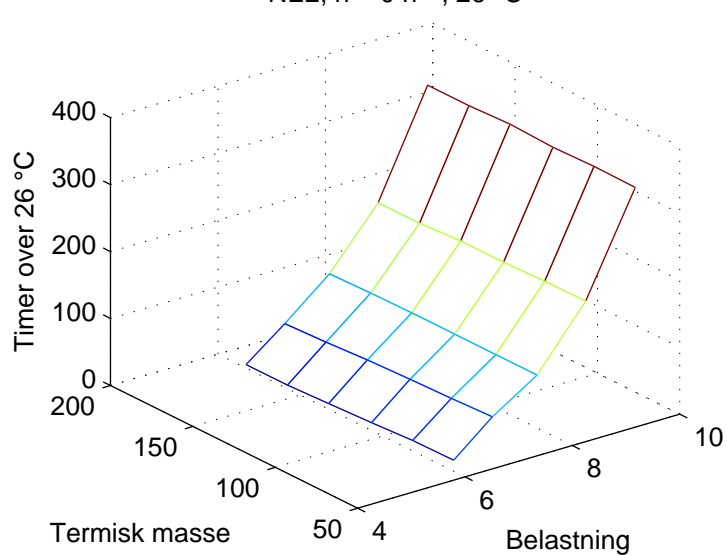
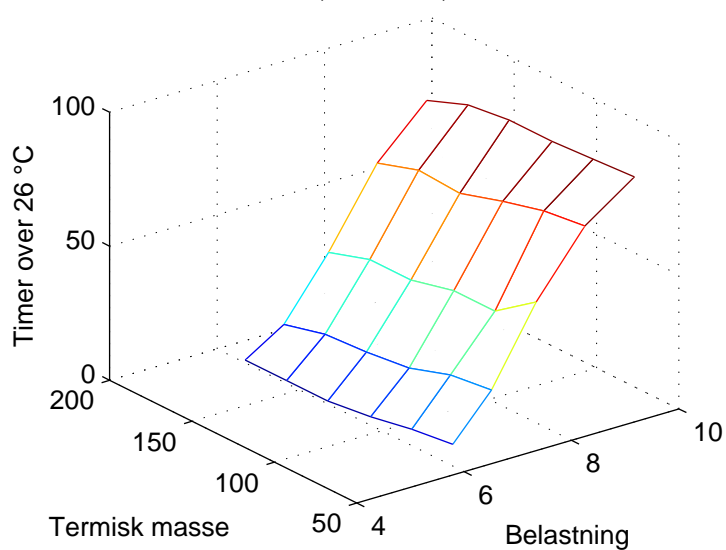
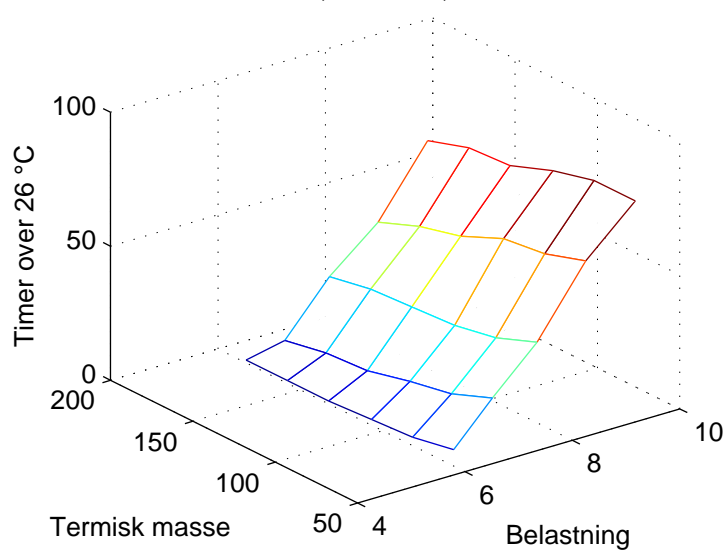
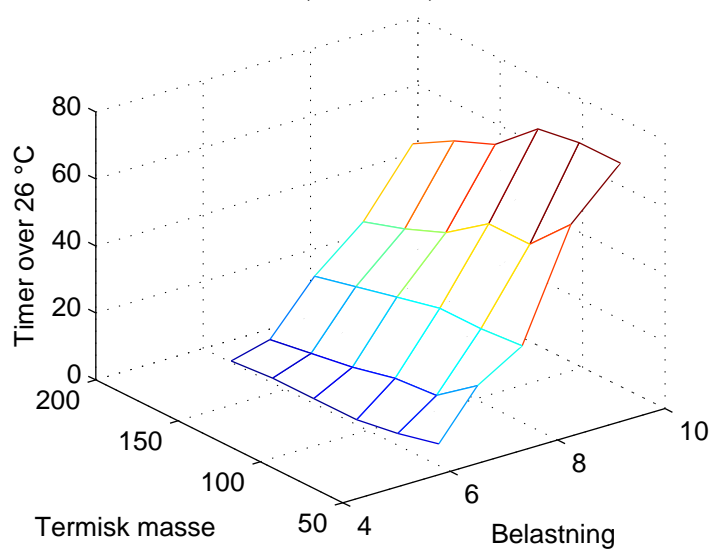
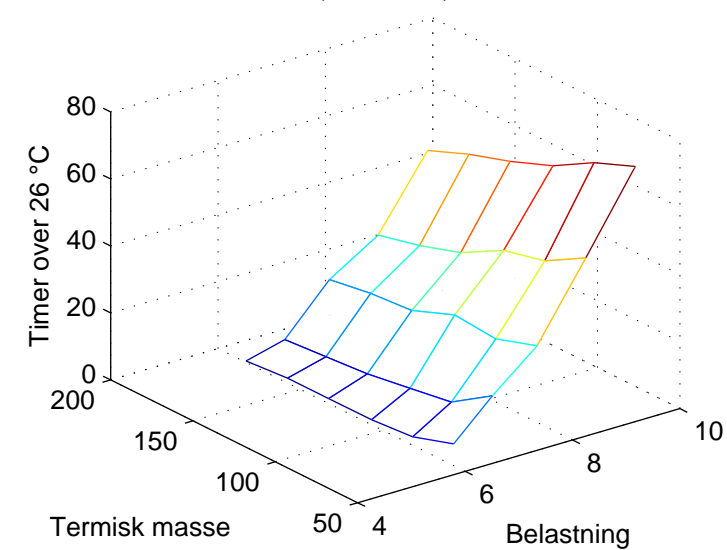
N3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



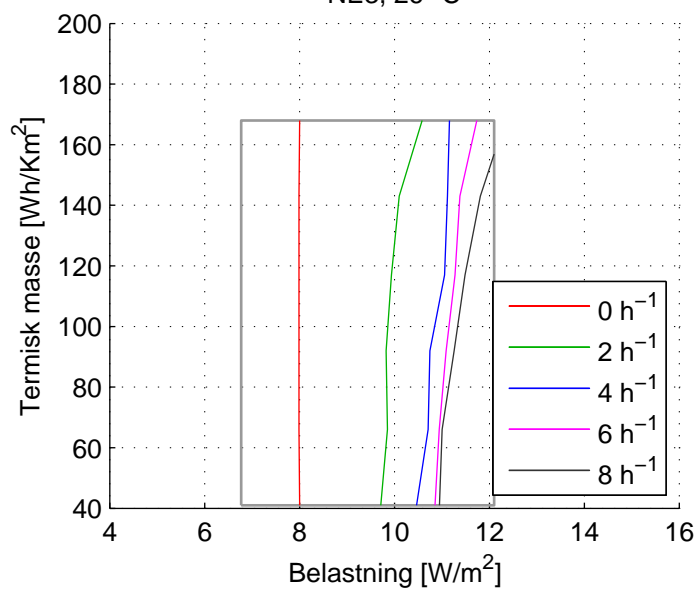
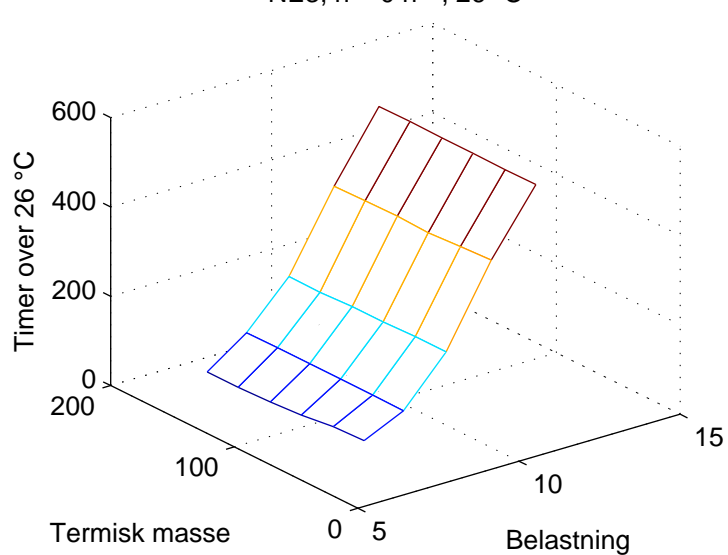
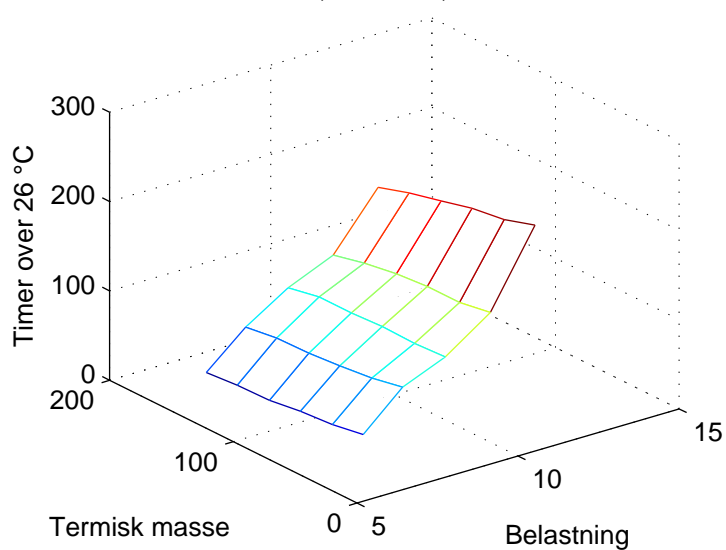
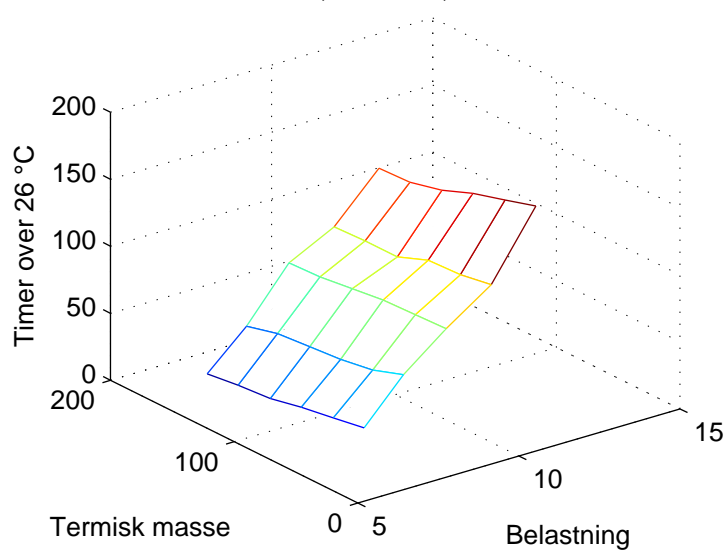
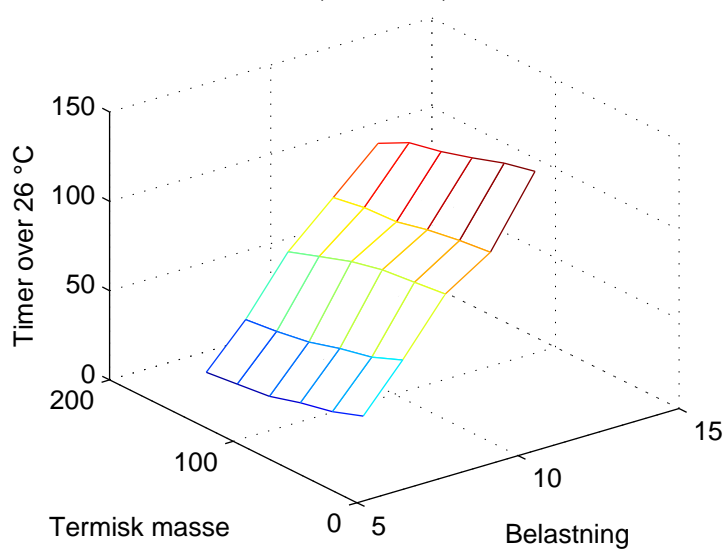
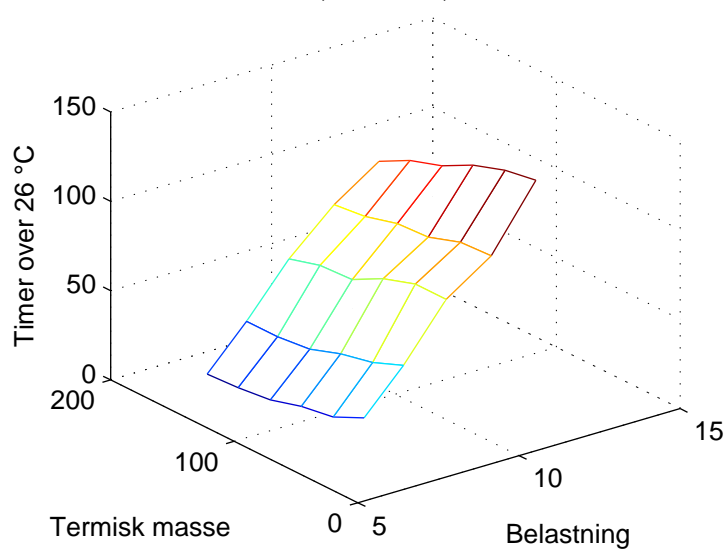
NE1, 26 °C

NE1, n = 0 h⁻¹, 26 °CNE1, n = 2 h⁻¹, 26 °CNE1, n = 4 h⁻¹, 26 °CNE1, n = 6 h⁻¹, 26 °CNE1, n = 8 h⁻¹, 26 °C

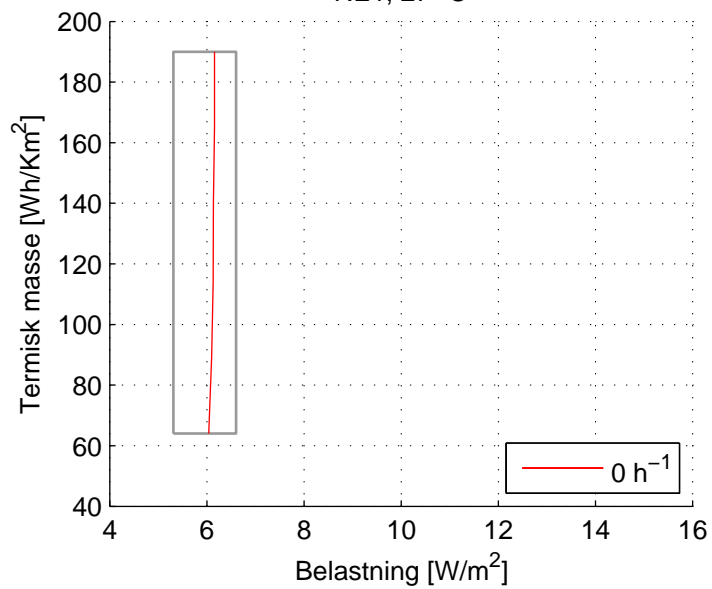
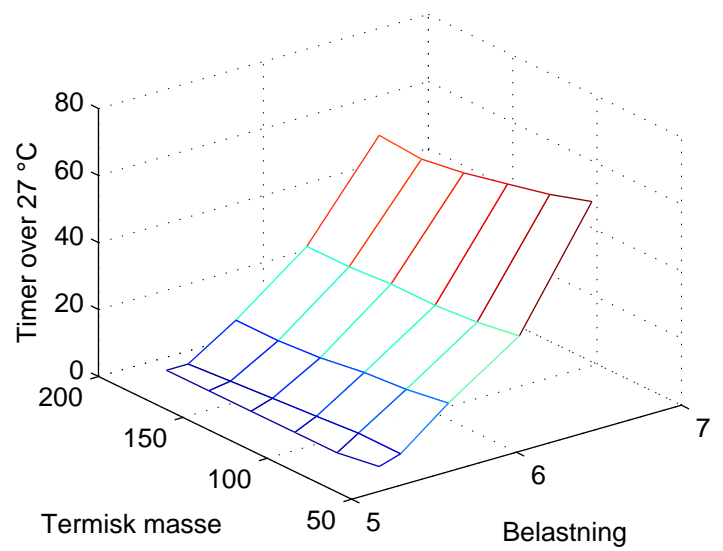
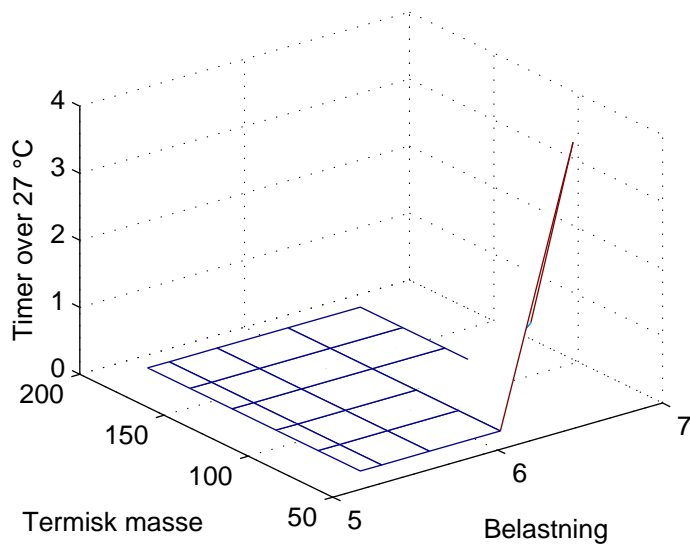
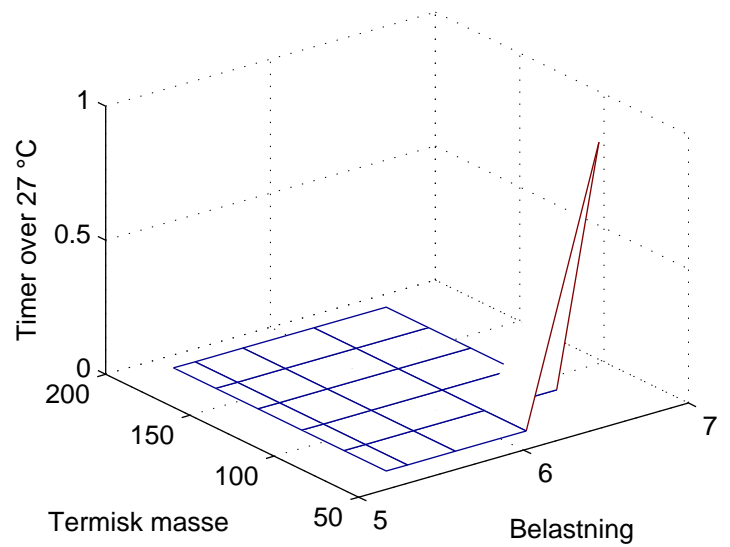
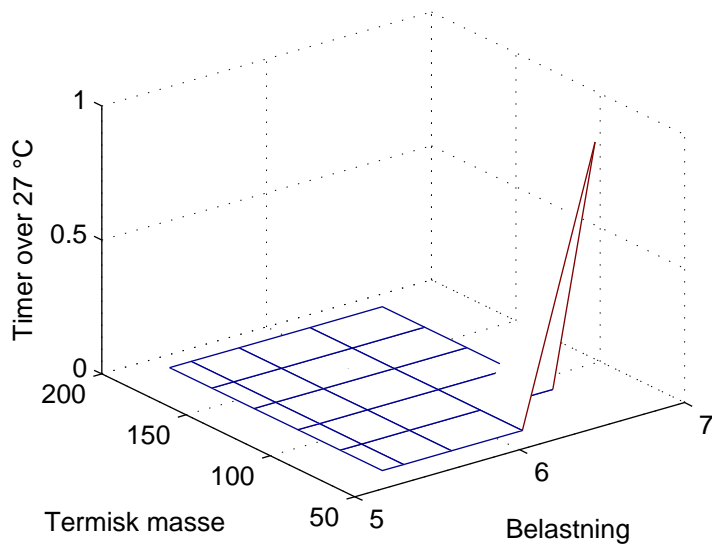
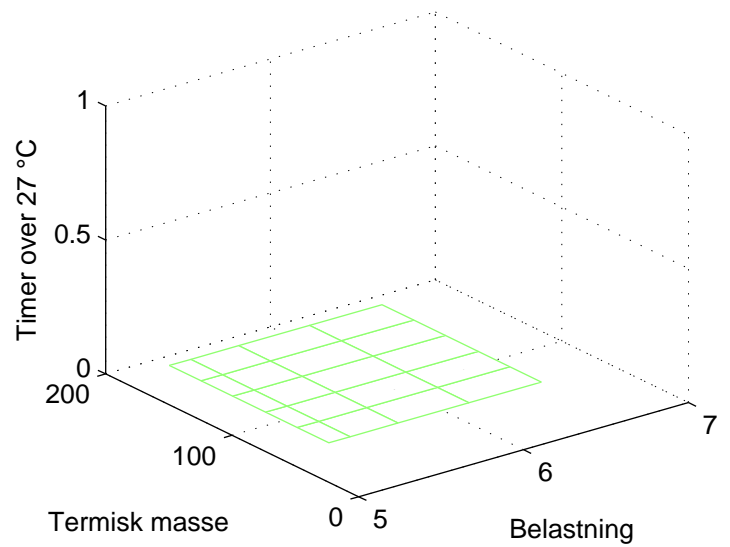
NE2, 26 °C

NE2, n = 0 h⁻¹, 26 °CNE2, n = 2 h⁻¹, 26 °CNE2, n = 4 h⁻¹, 26 °CNE2, n = 6 h⁻¹, 26 °CNE2, n = 8 h⁻¹, 26 °C

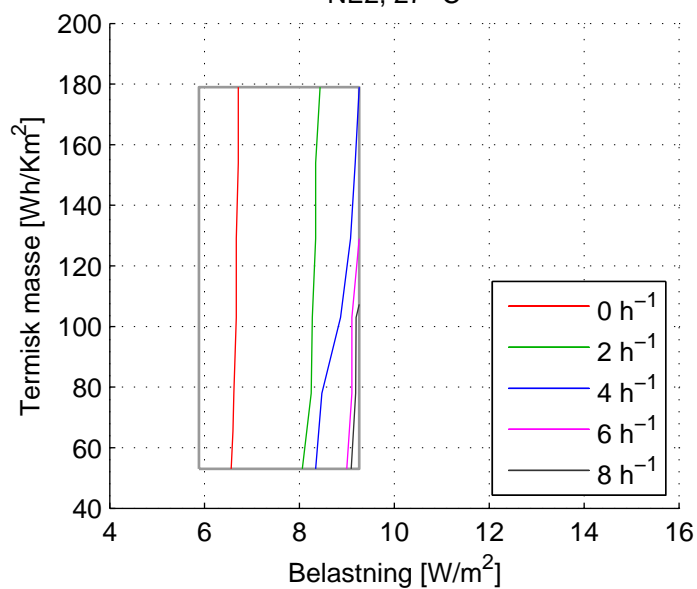
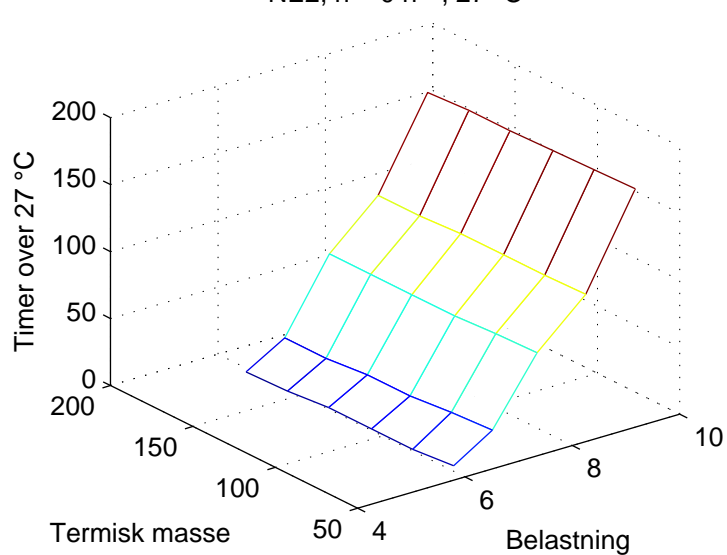
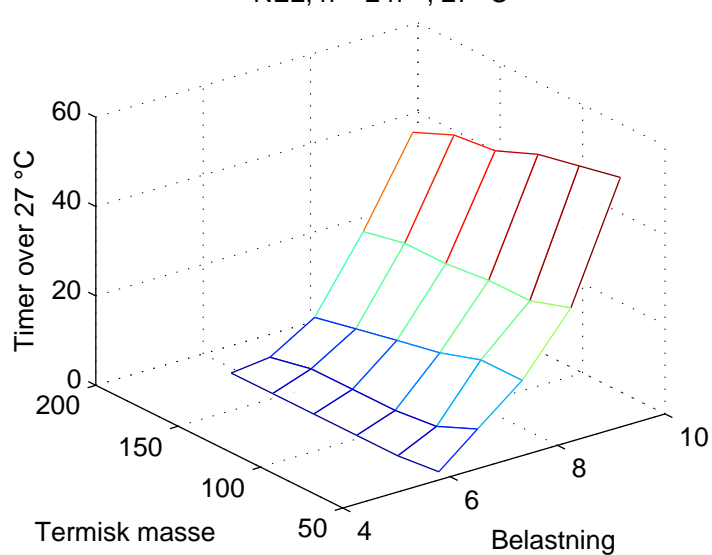
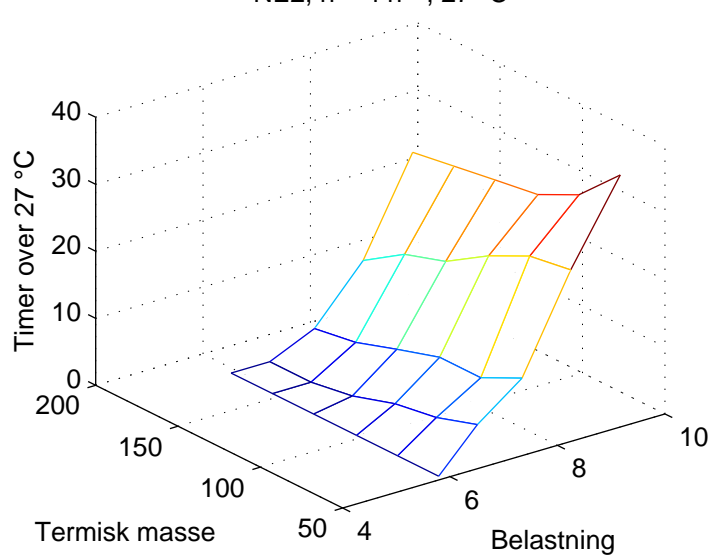
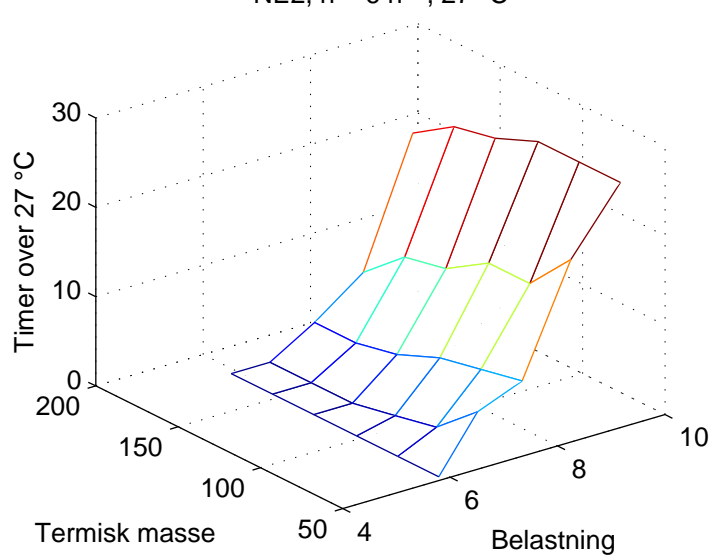
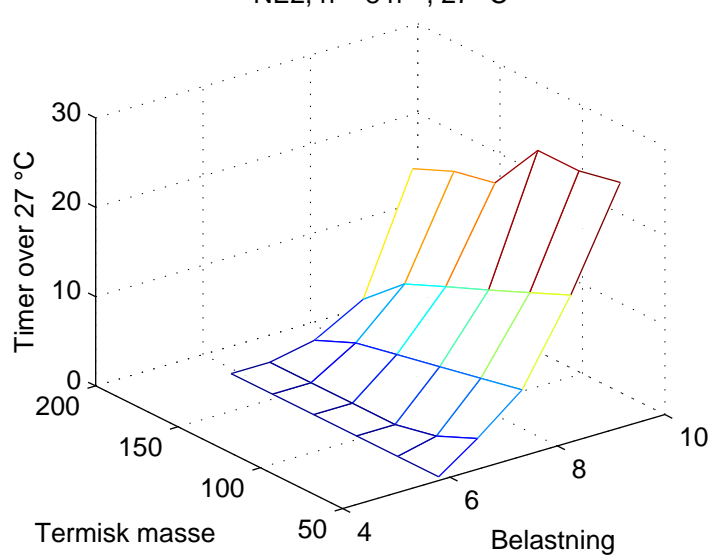
NE3, 26 °C

NE3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CNE3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CNE3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CNE3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CNE3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

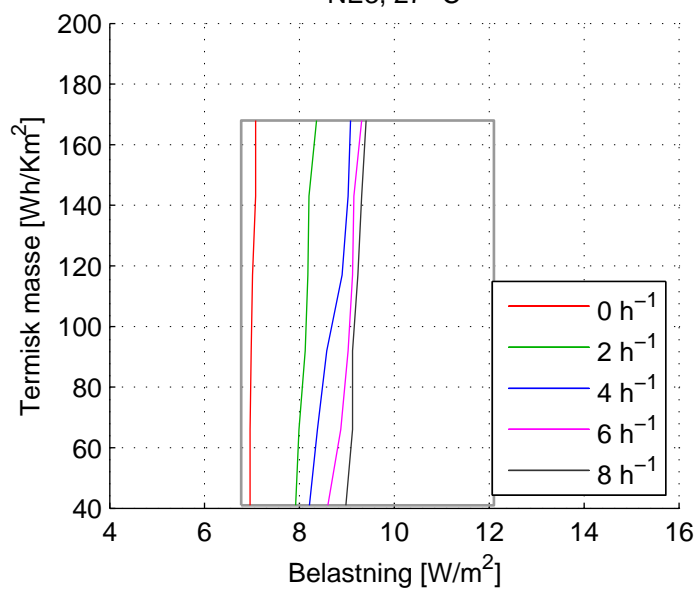
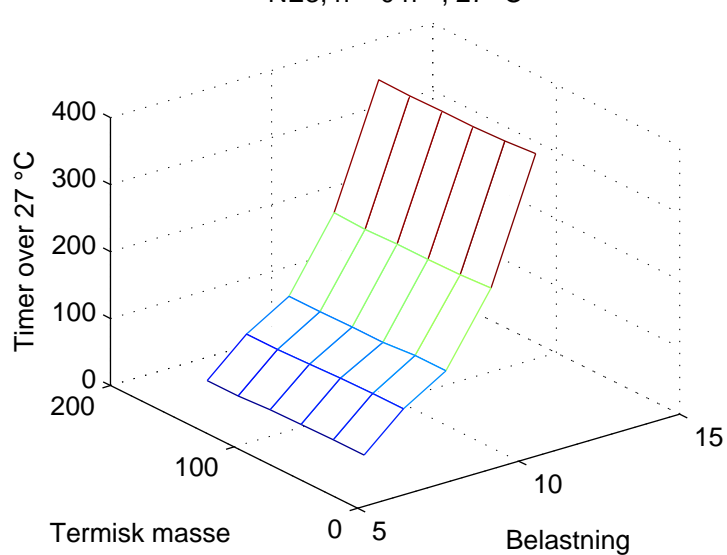
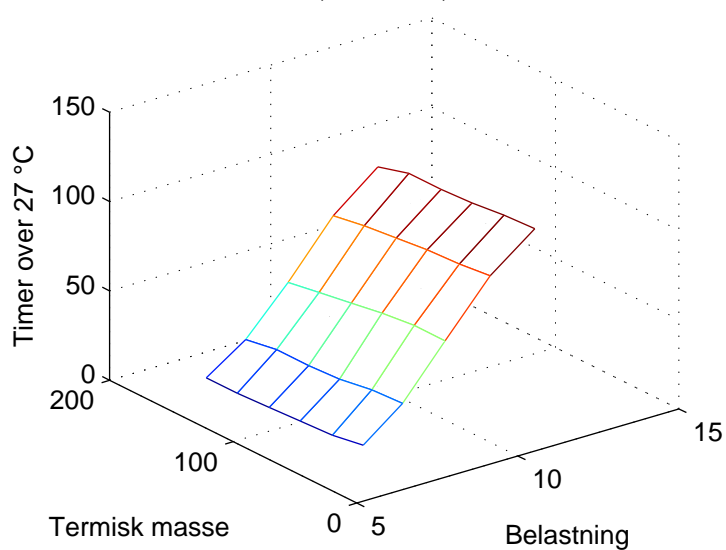
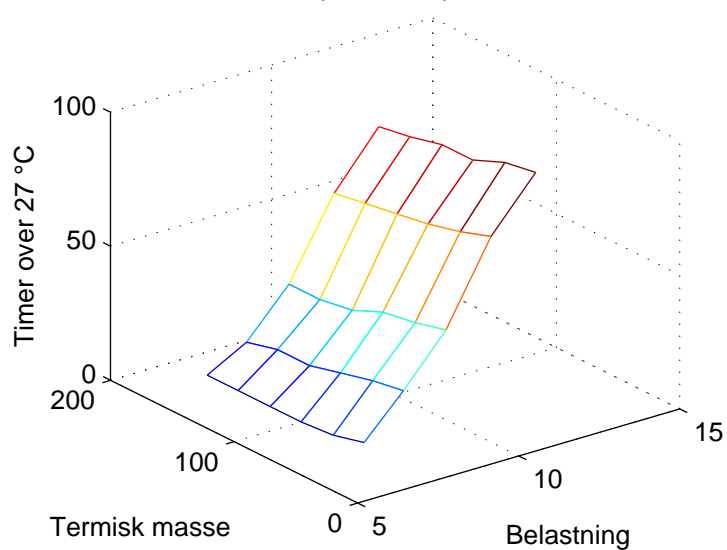
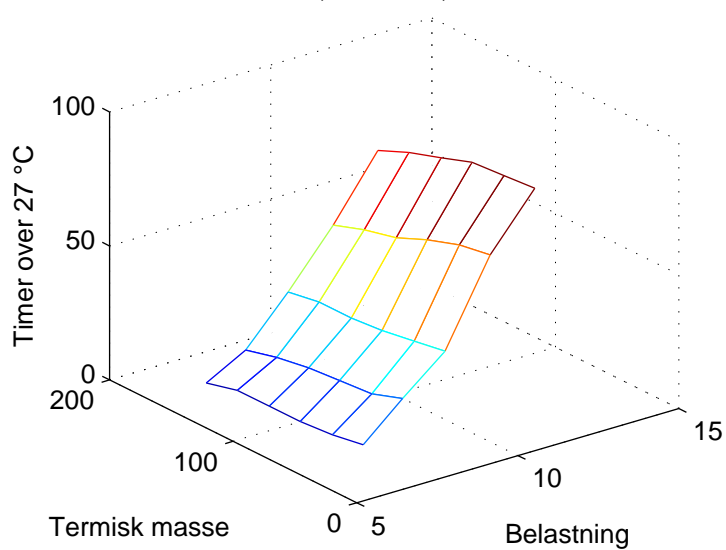
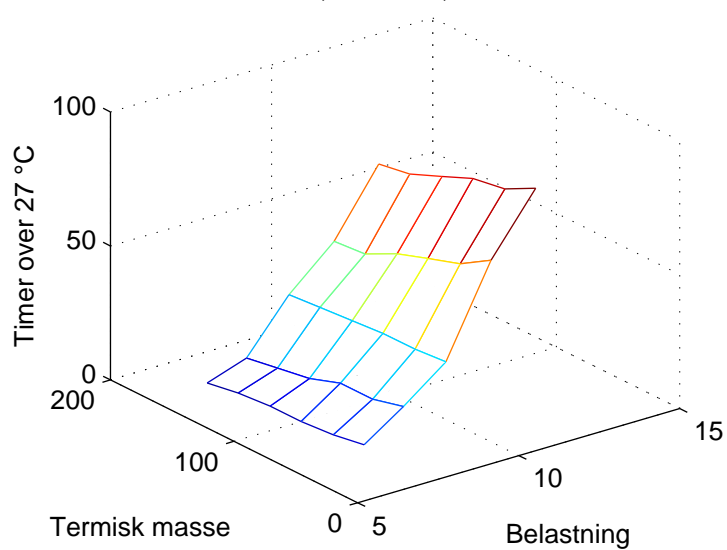
NE1, 27 °C

NE1, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE1, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE1, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE1, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE1, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

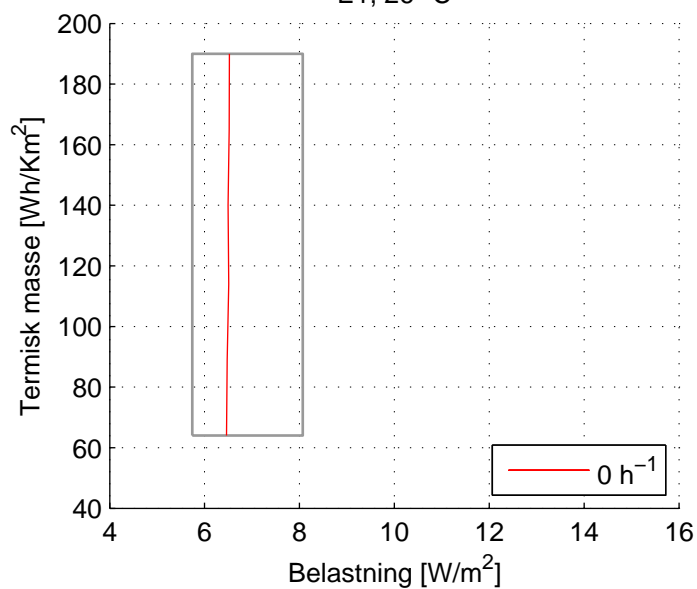
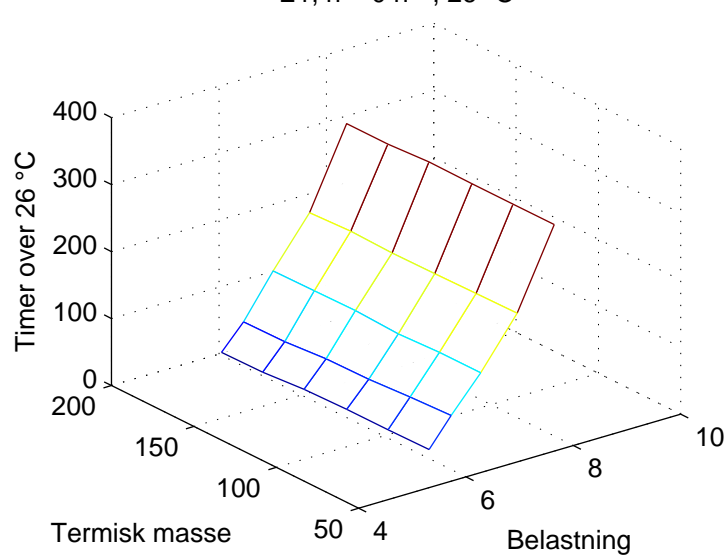
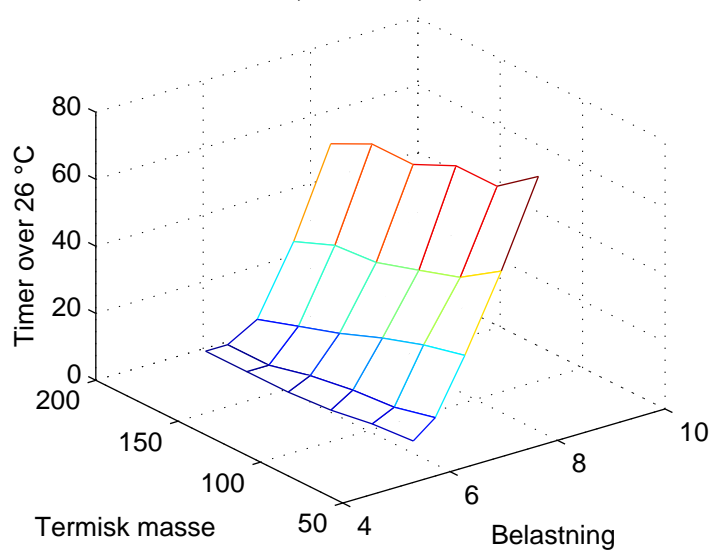
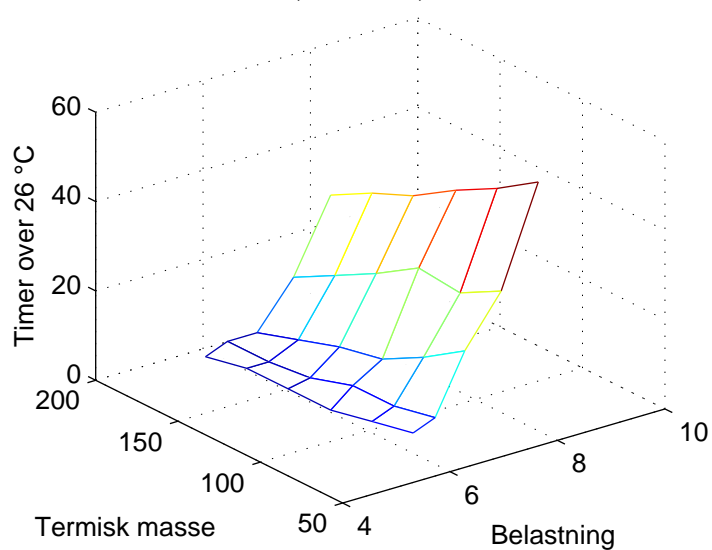
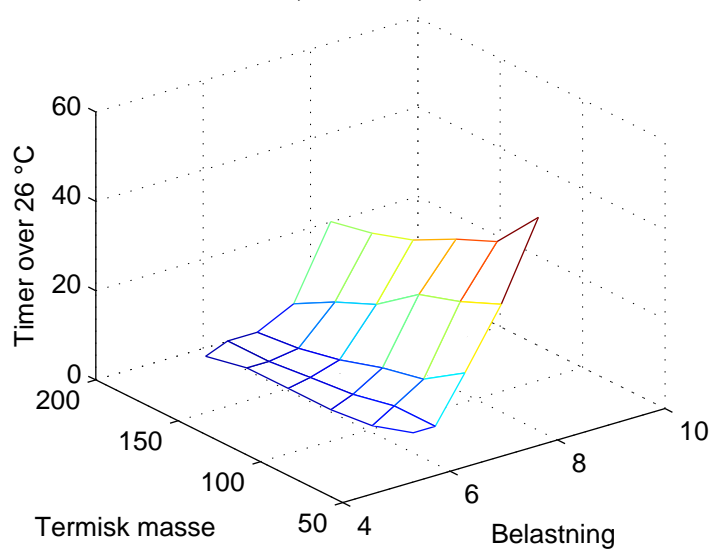
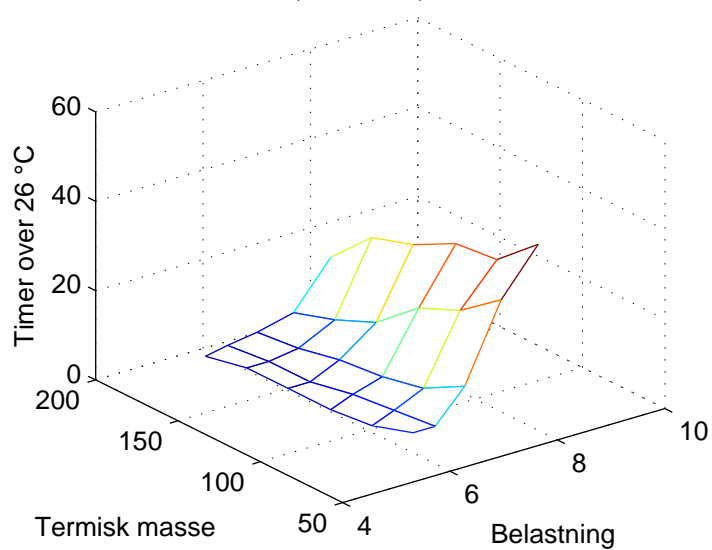
NE2, 27 °C

NE2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

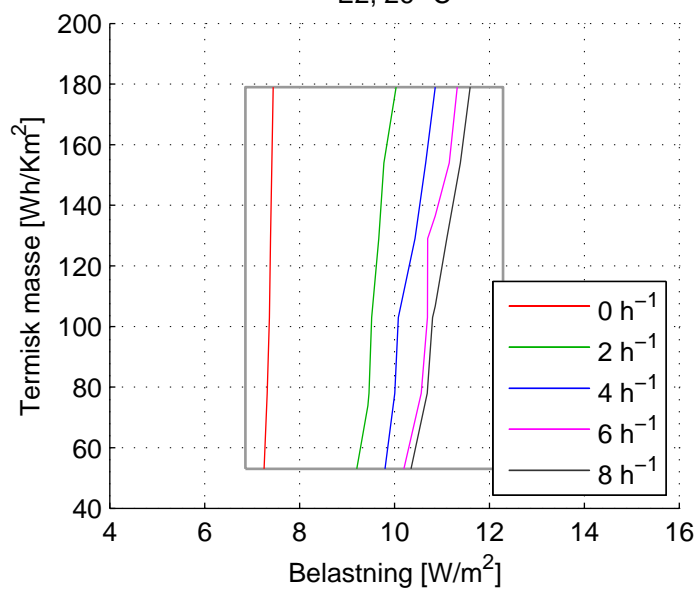
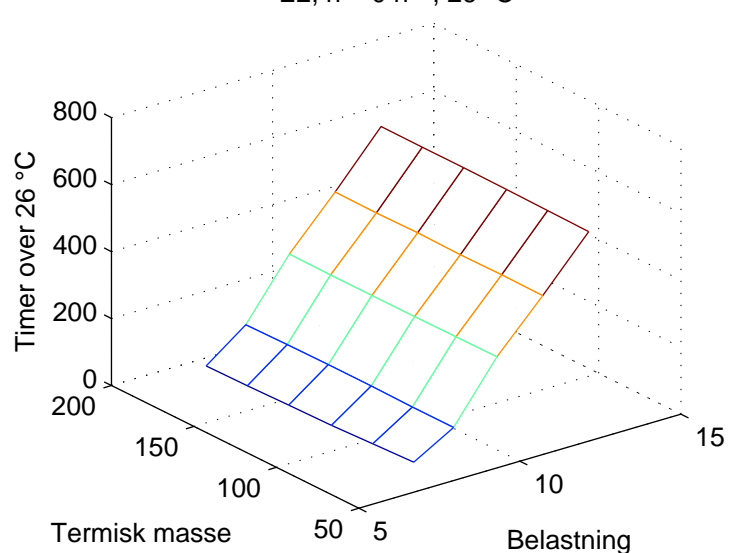
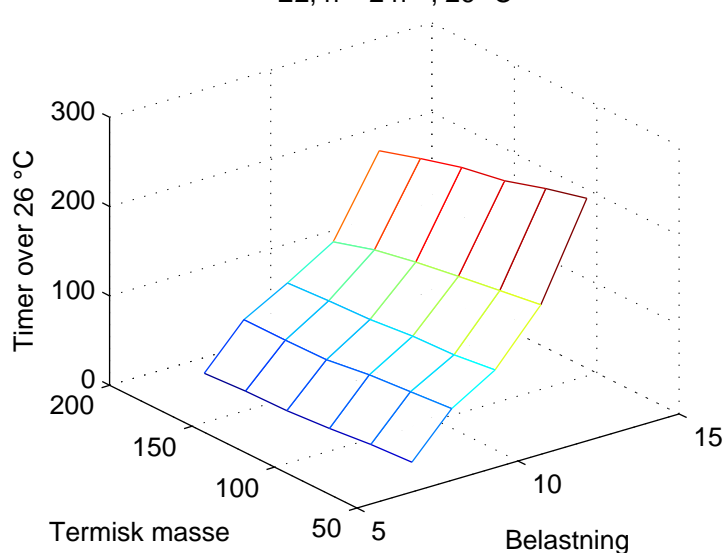
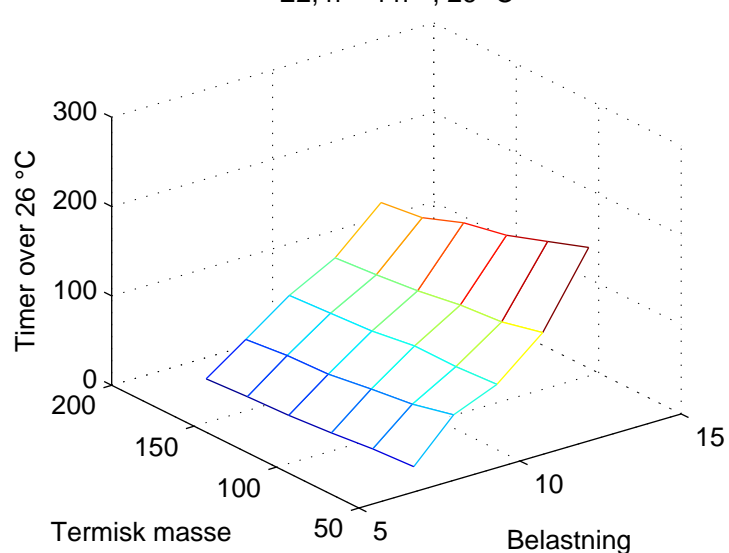
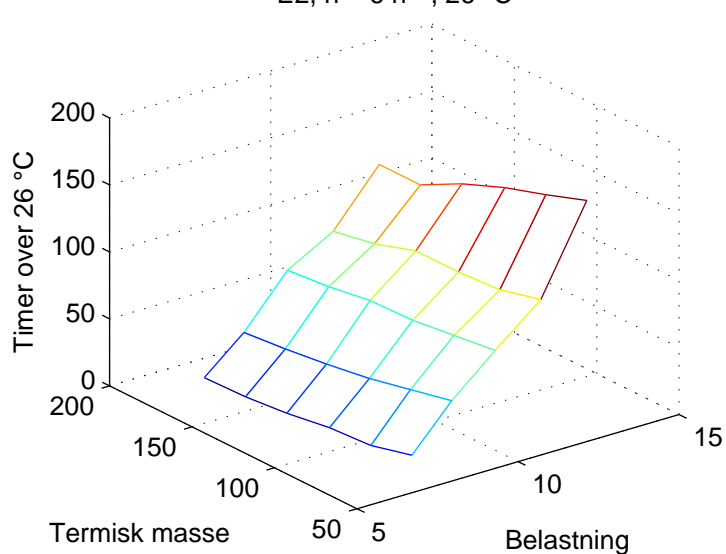
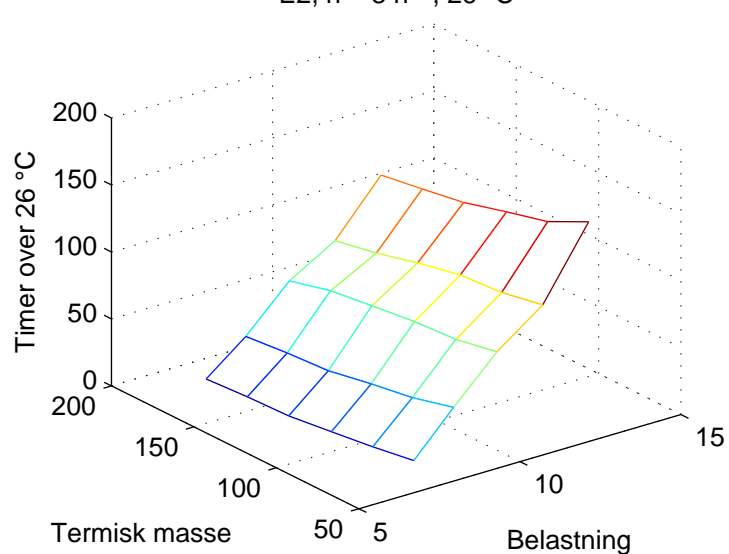
NE3, 27 °C

NE3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CNE3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

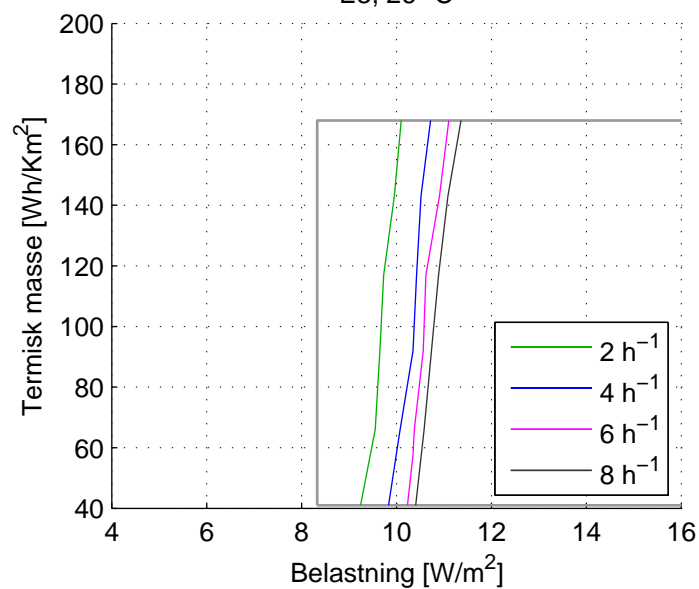
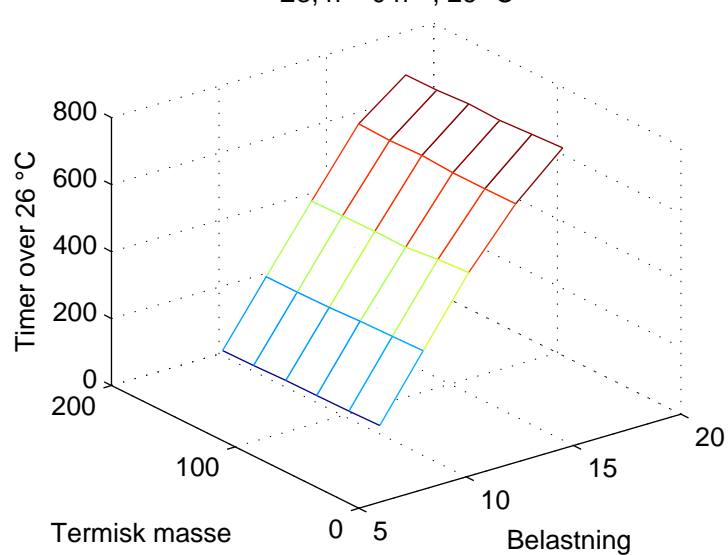
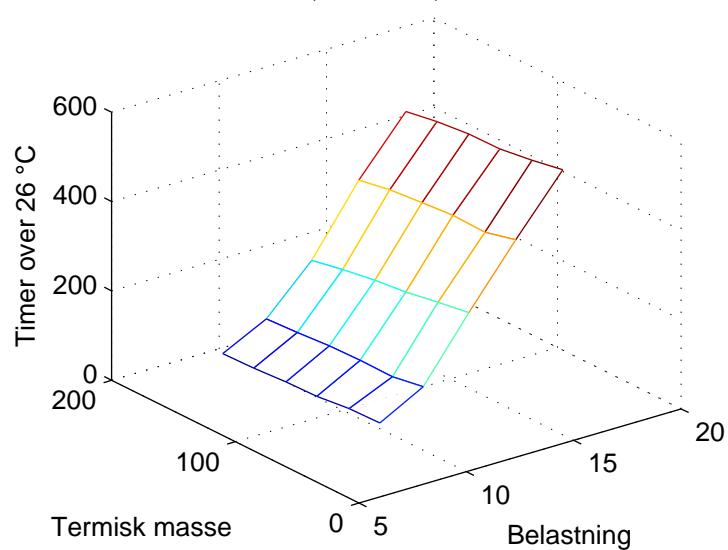
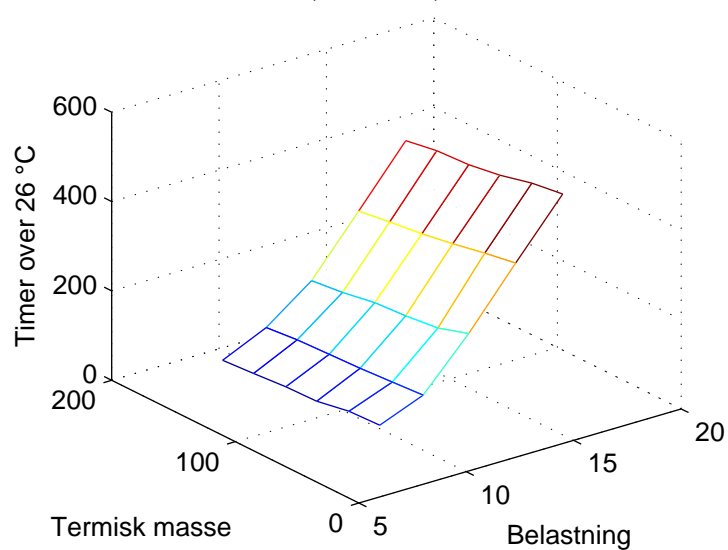
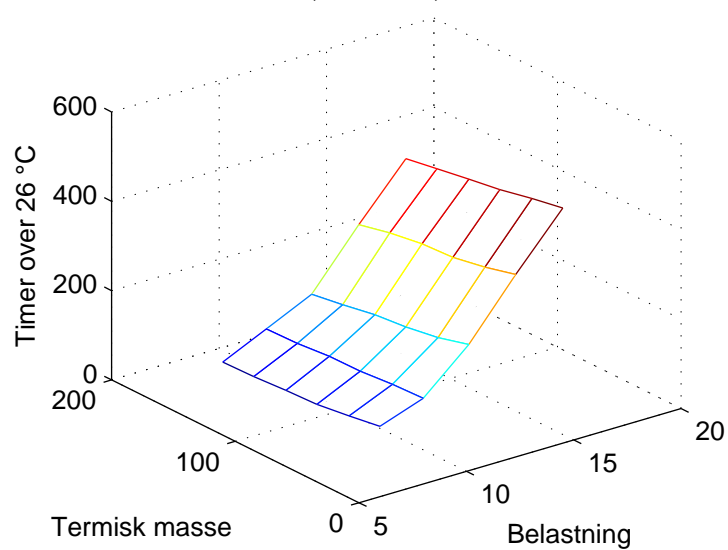
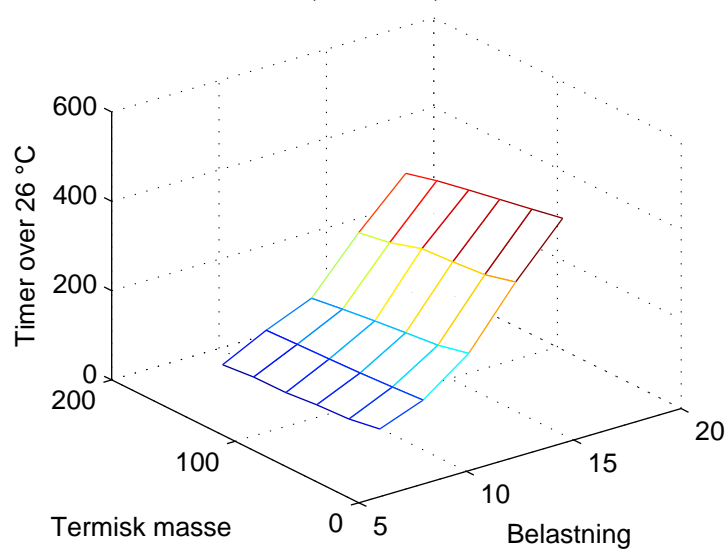
E1, 26 °C

E1, n = 0 h⁻¹, 26 °CE1, n = 2 h⁻¹, 26 °CE1, n = 4 h⁻¹, 26 °CE1, n = 6 h⁻¹, 26 °CE1, n = 8 h⁻¹, 26 °C

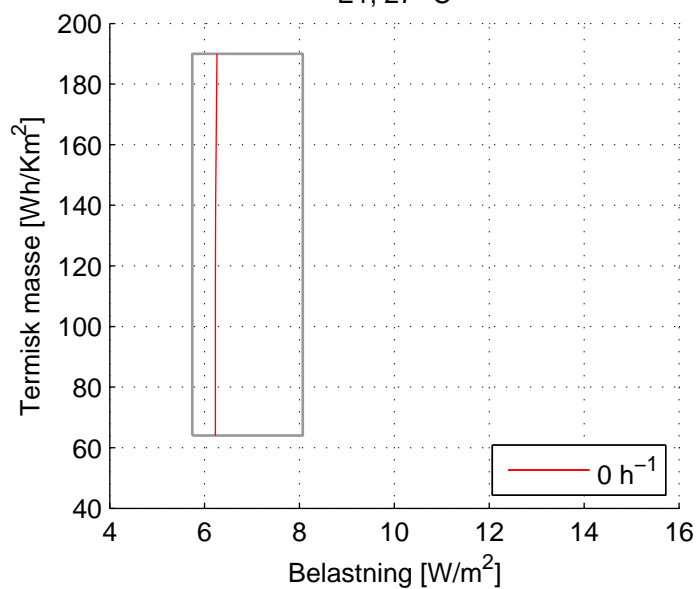
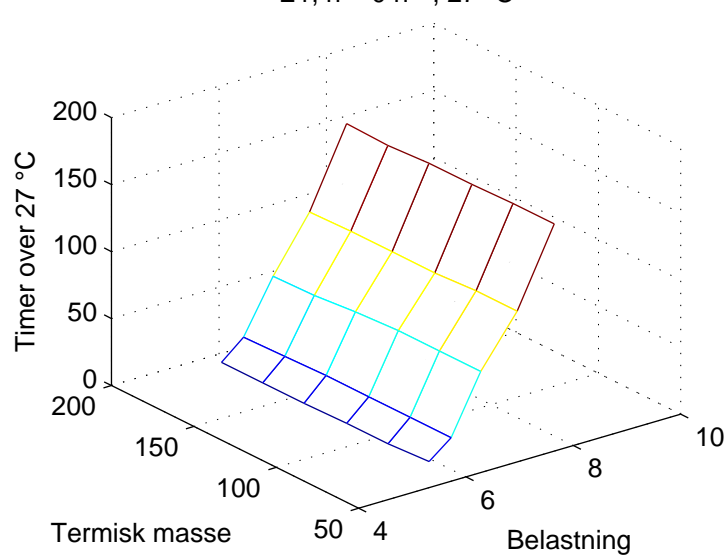
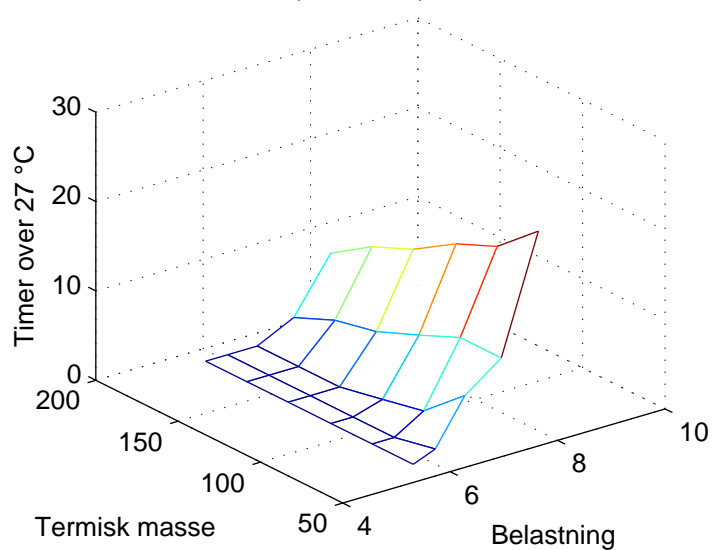
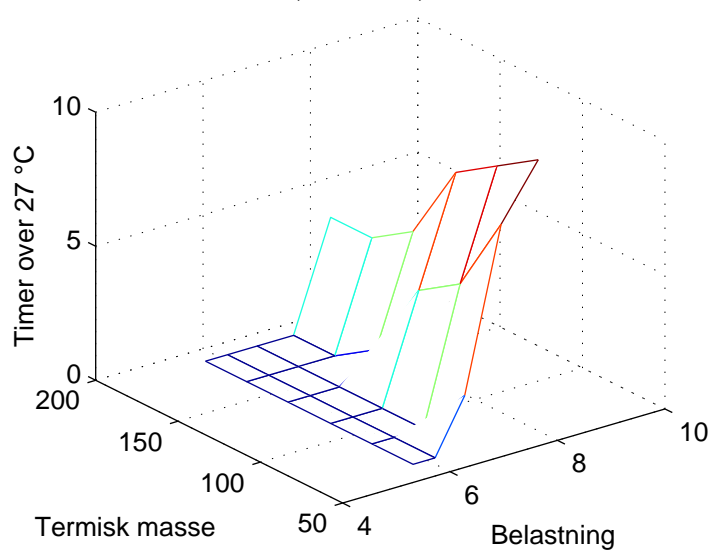
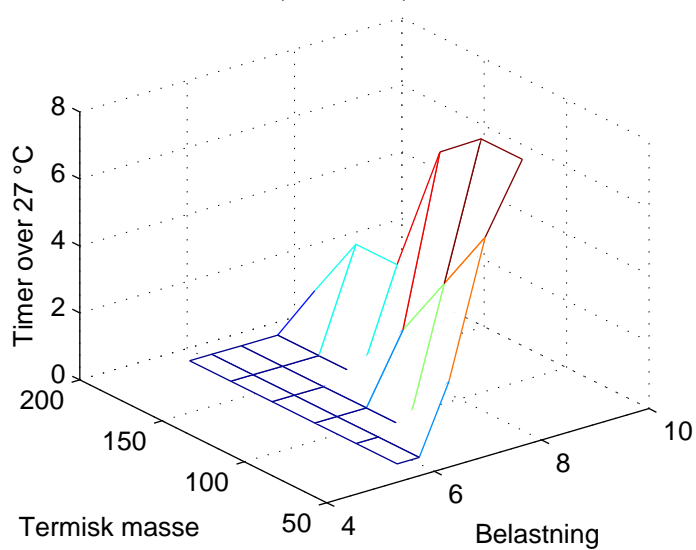
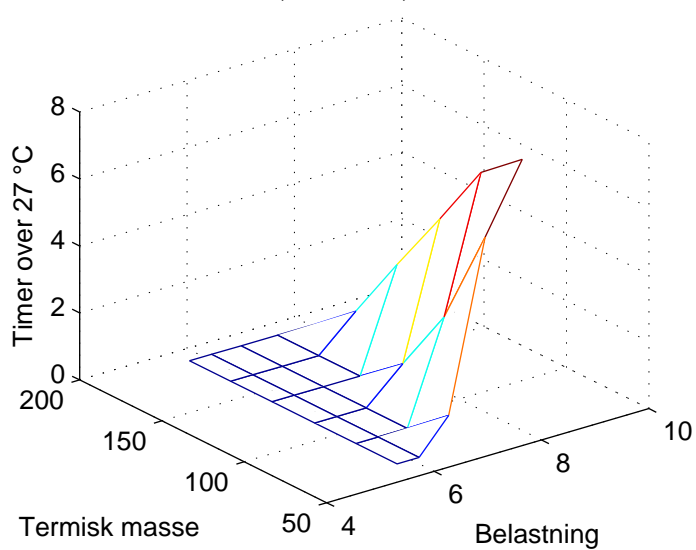
E2, 26 °C

E2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

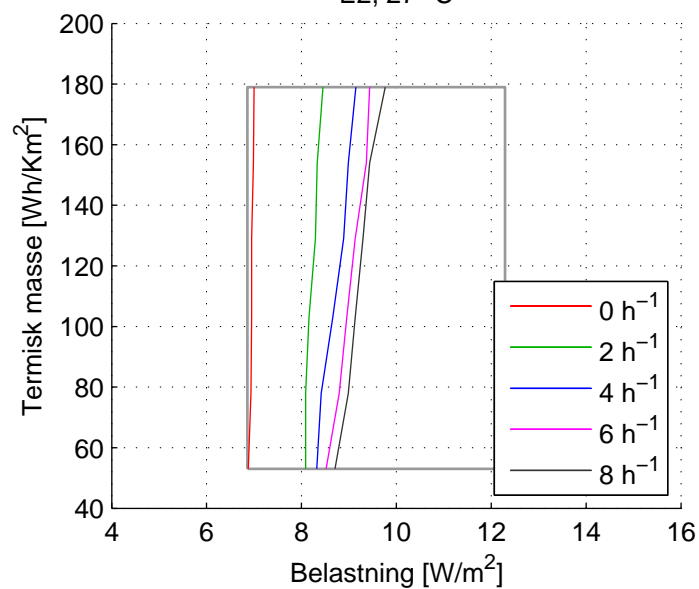
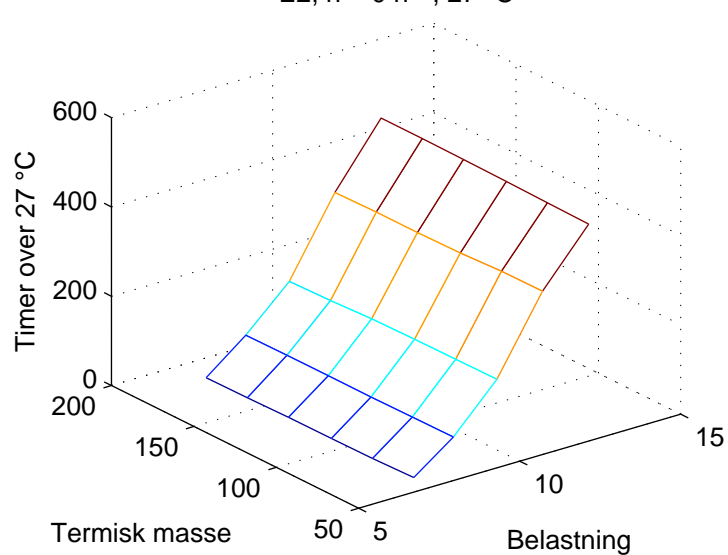
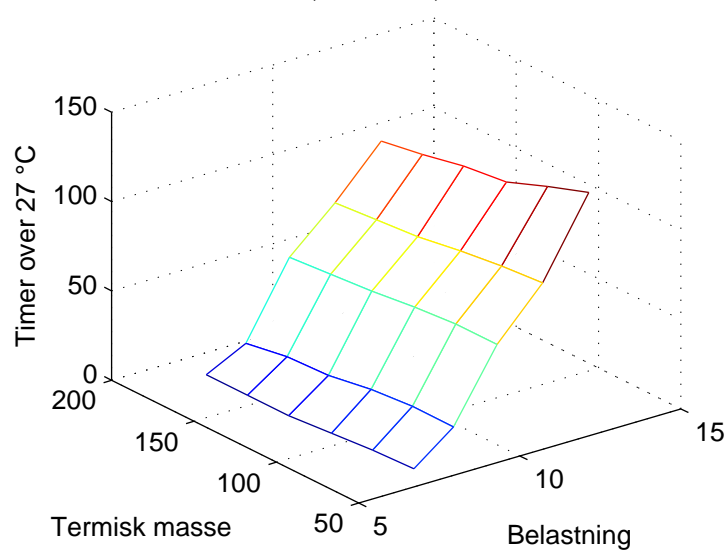
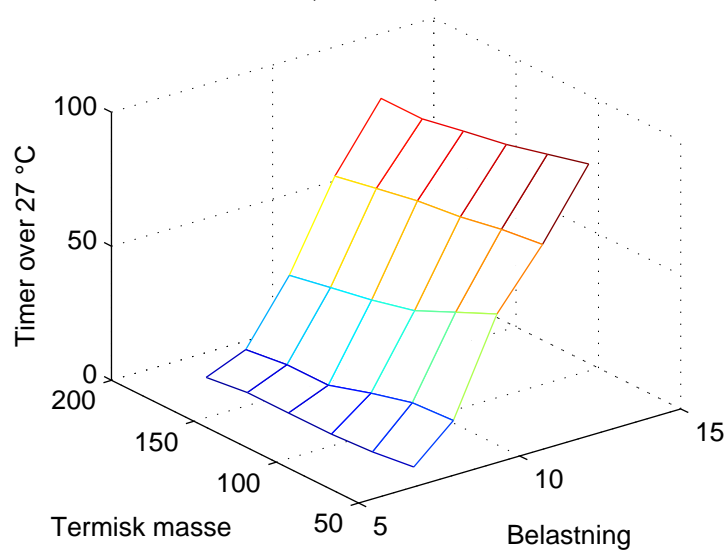
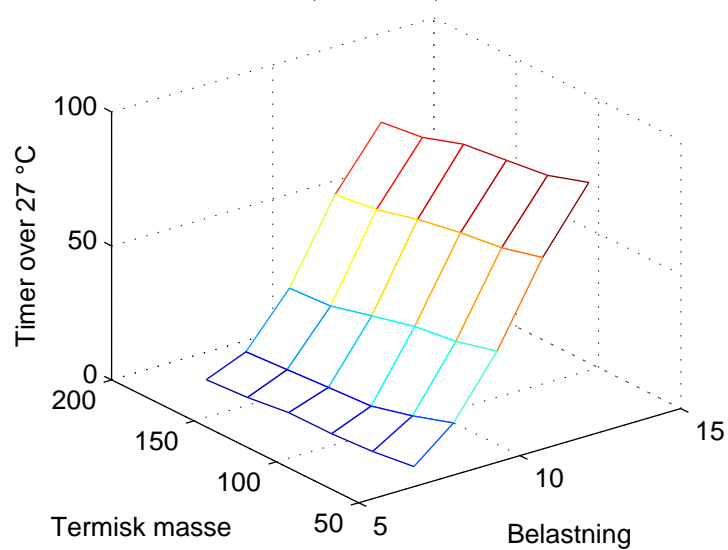
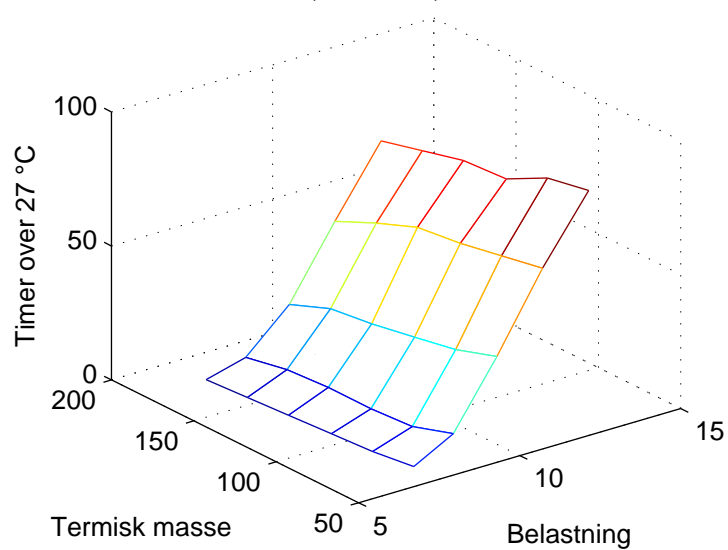
E3, 26 °C

E3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CE3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

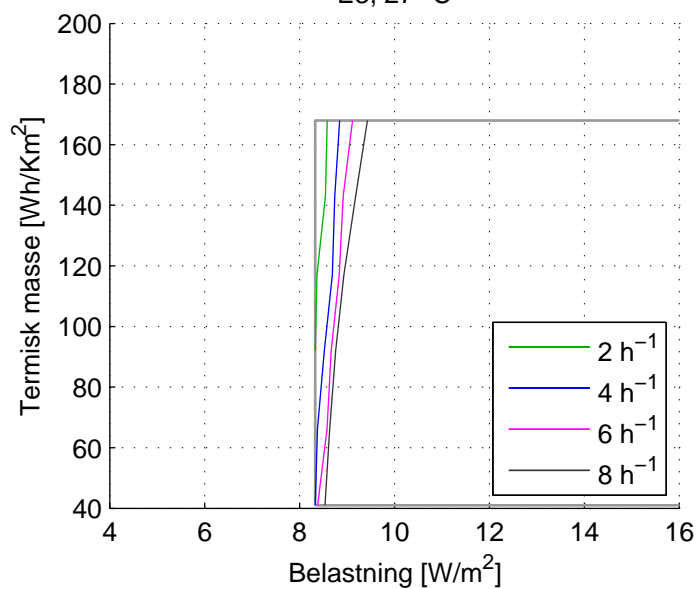
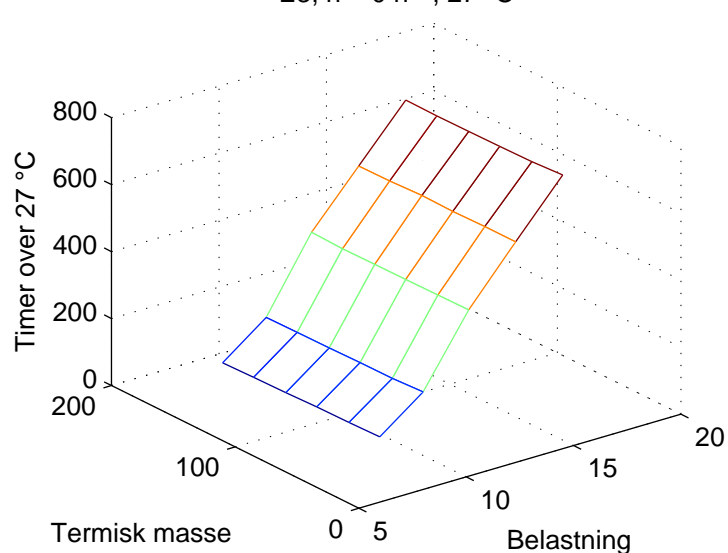
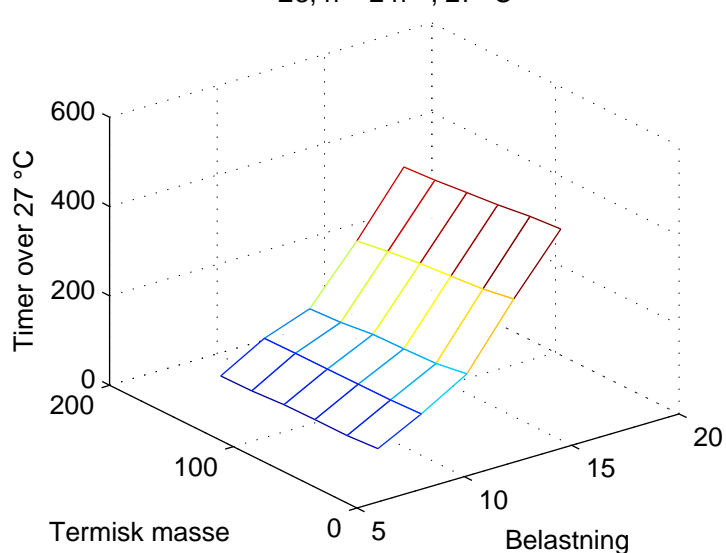
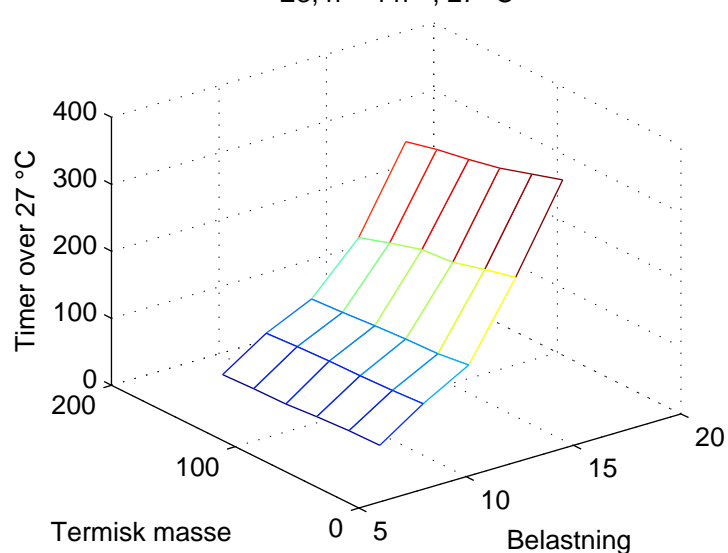
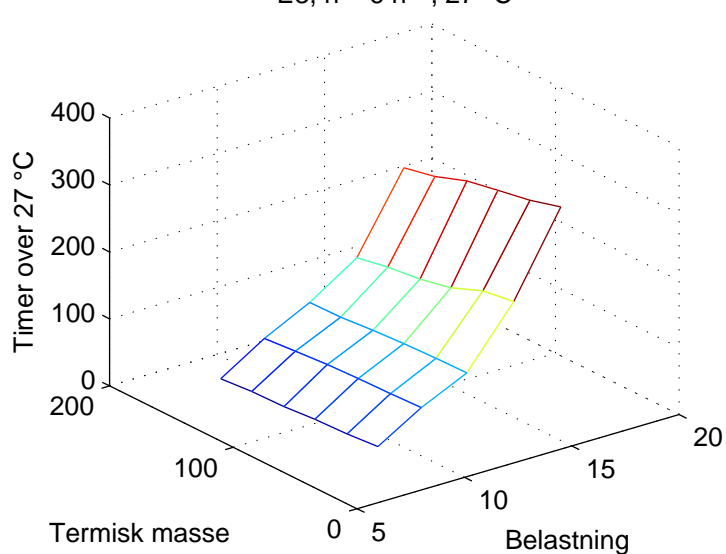
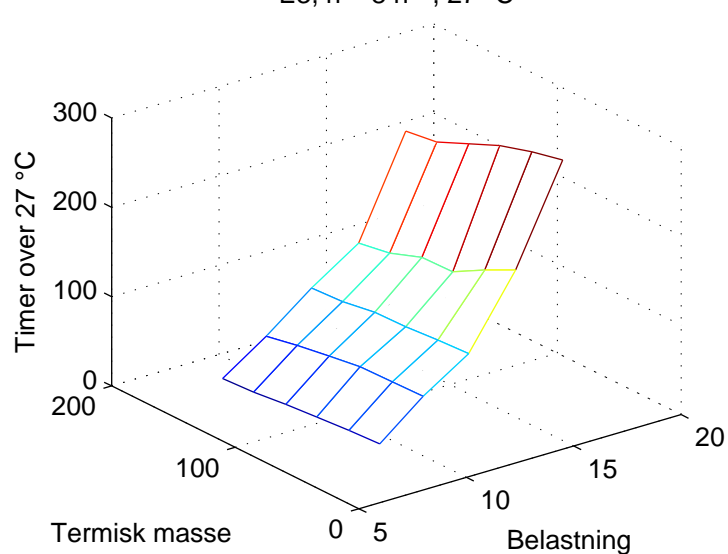
E1, 27 °C

E1, n = 0 h⁻¹, 27 °CE1, n = 2 h⁻¹, 27 °CE1, n = 4 h⁻¹, 27 °CE1, n = 6 h⁻¹, 27 °CE1, n = 8 h⁻¹, 27 °C

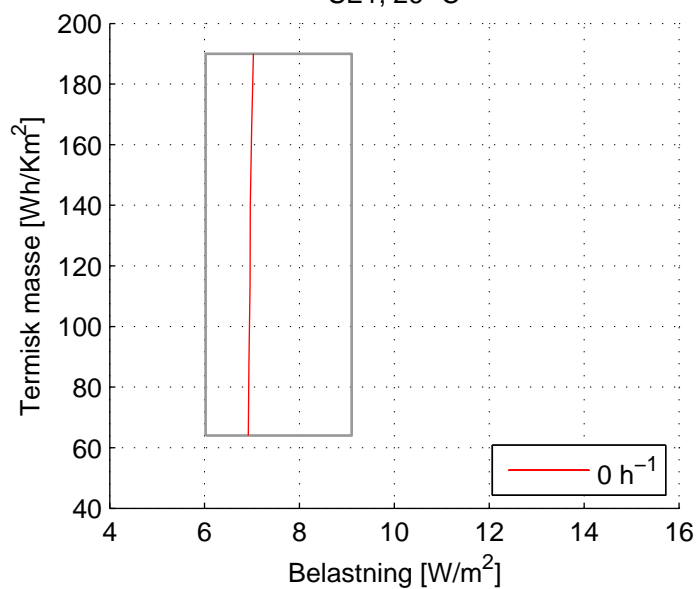
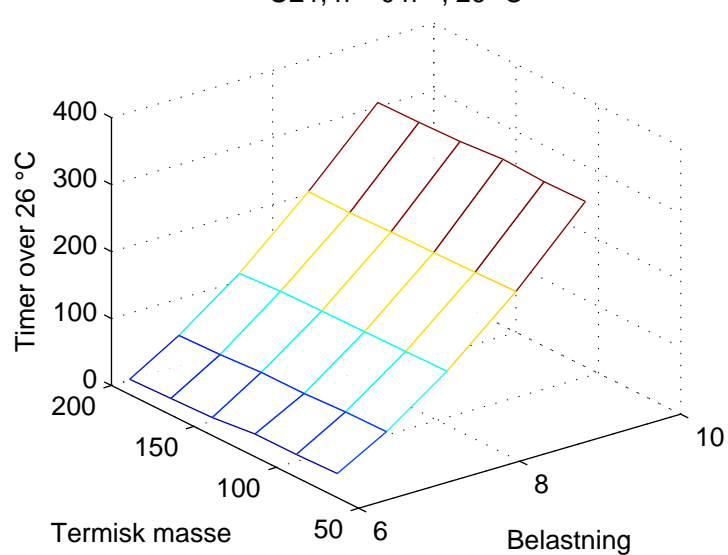
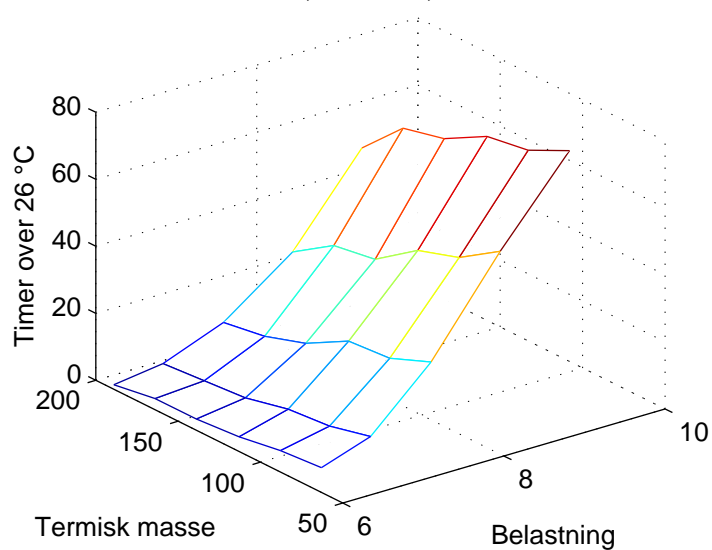
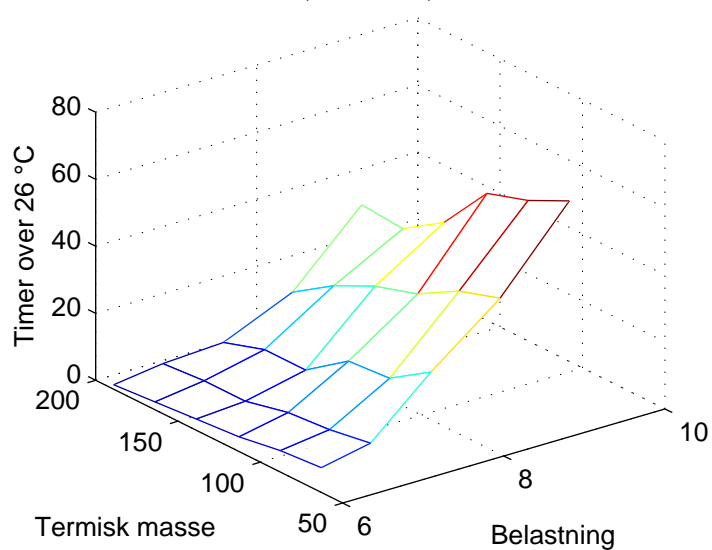
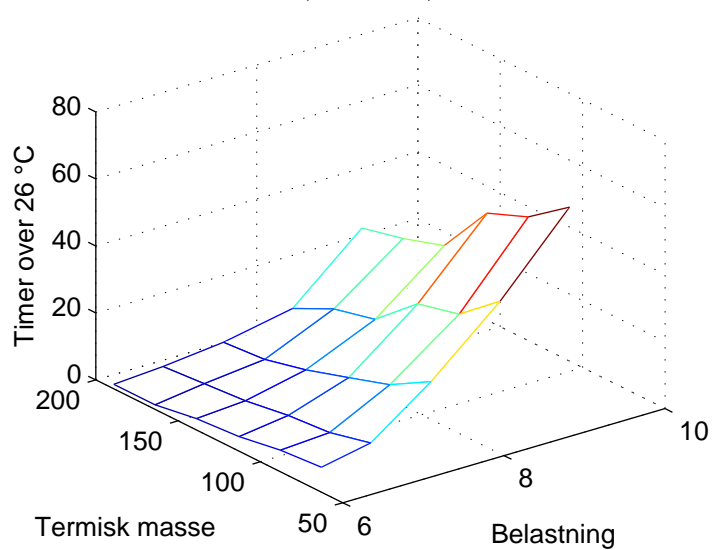
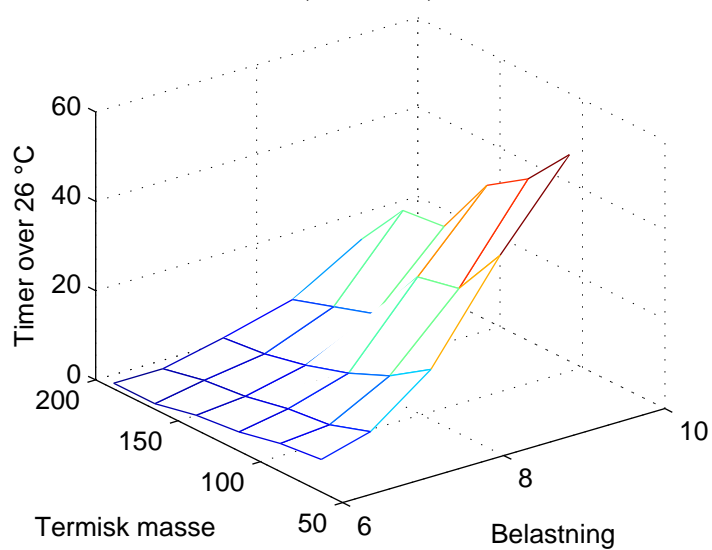
E2, 27 °C

E2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

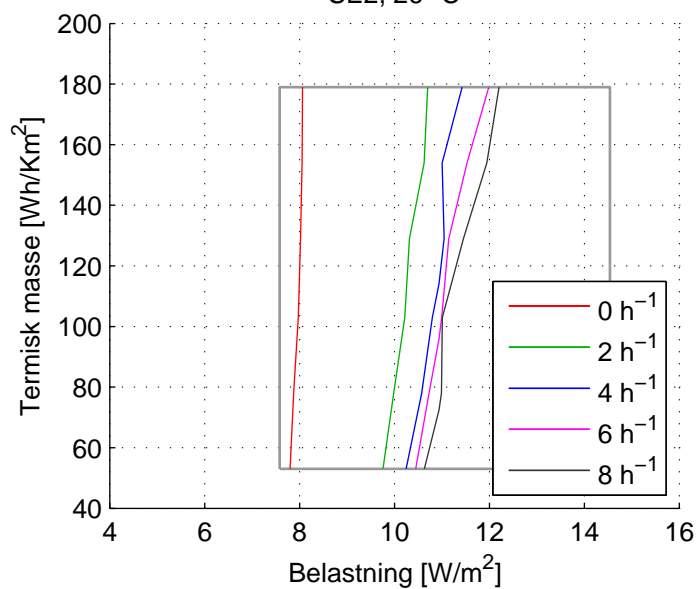
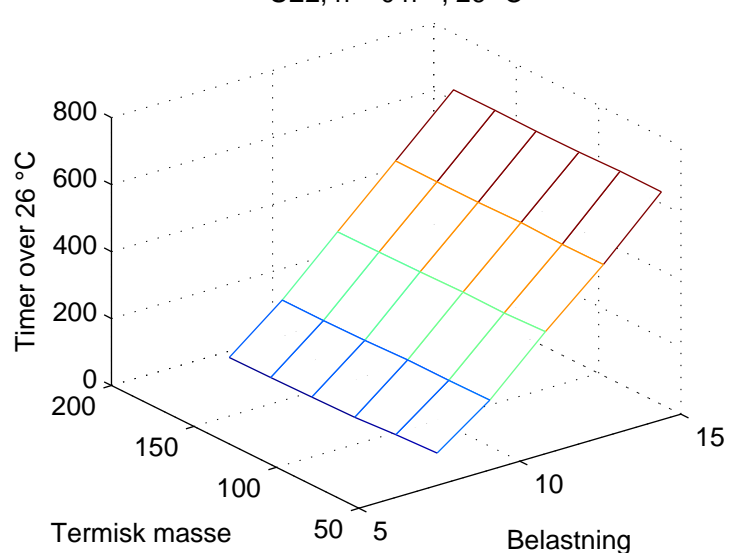
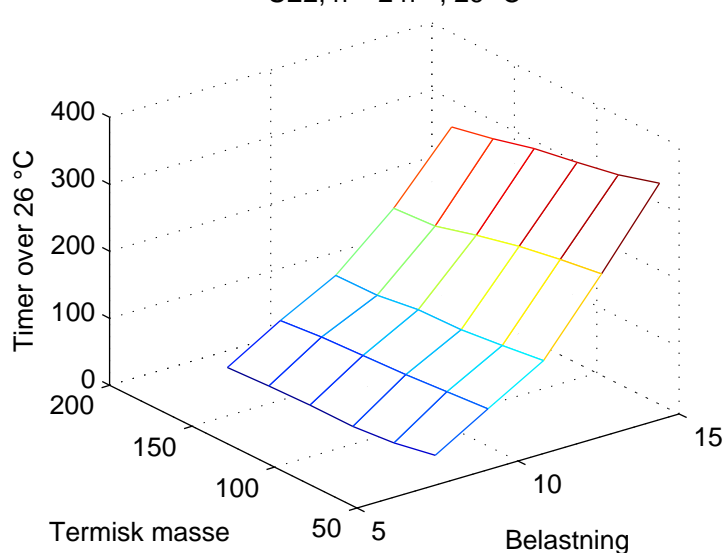
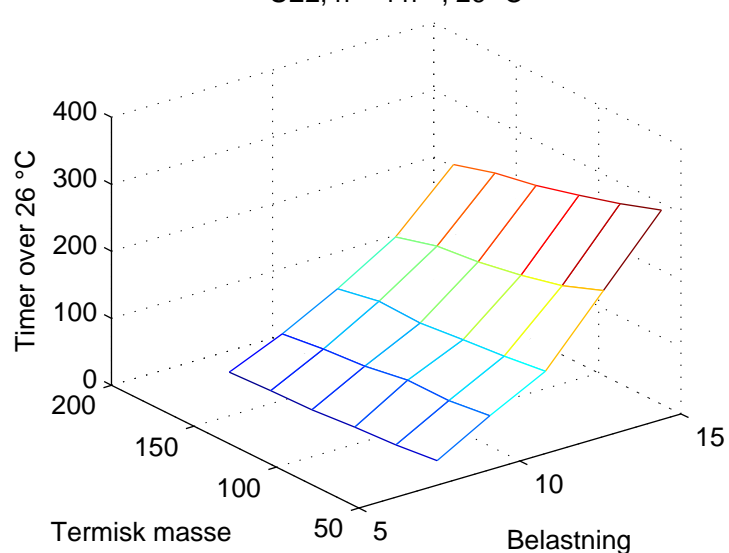
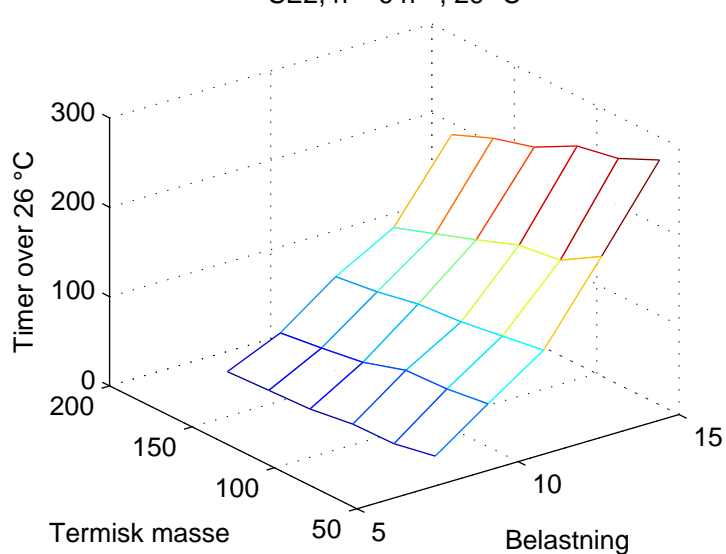
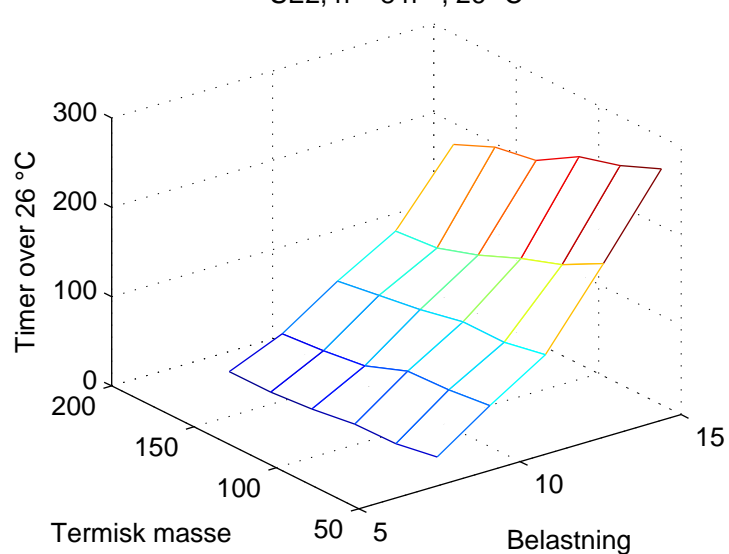
E3, 27 °C

E3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CE3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

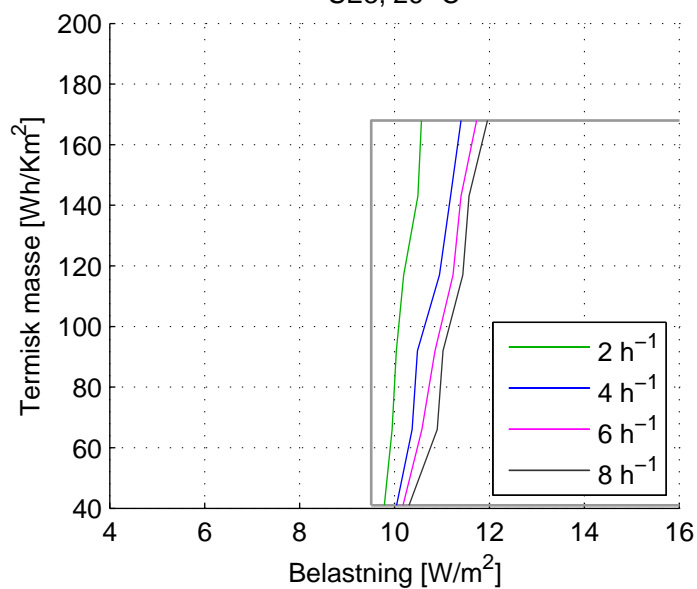
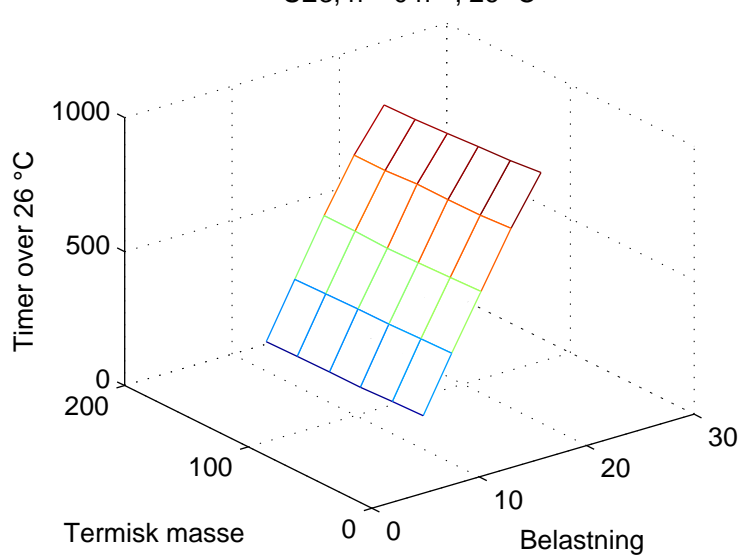
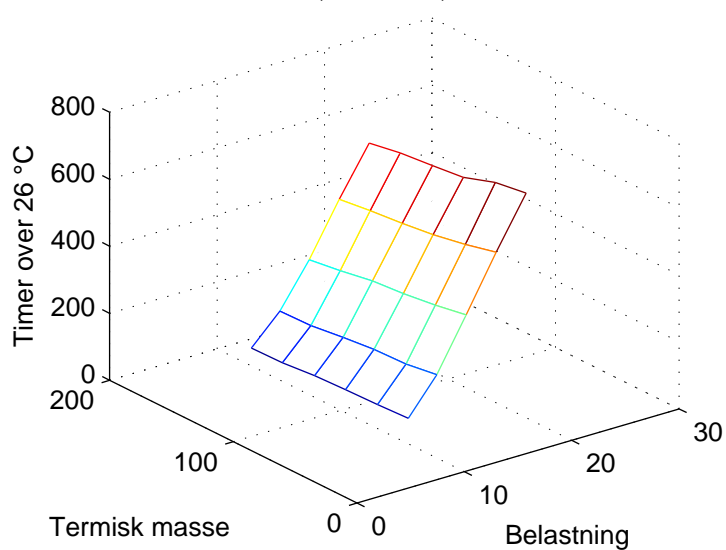
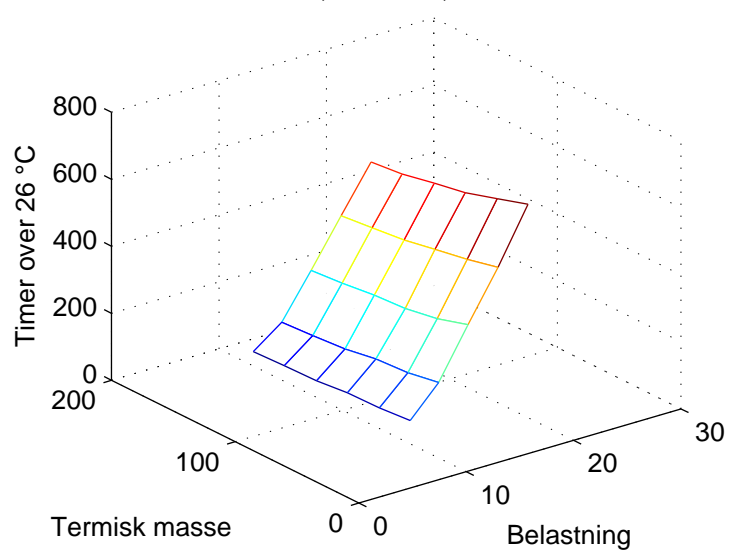
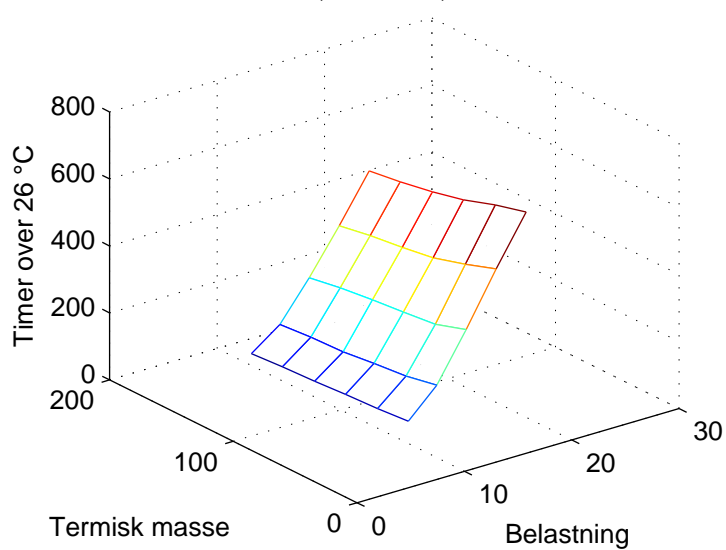
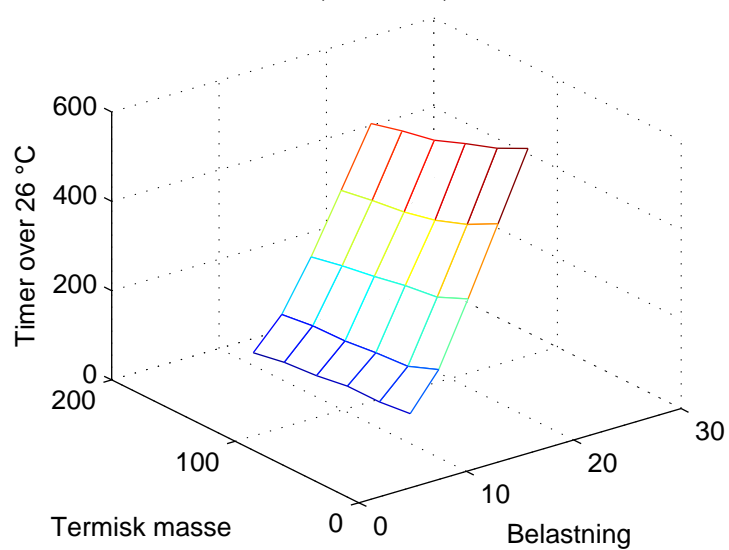
SE1, 26 °C

SE1, n = 0 h⁻¹, 26 °CSE1, n = 2 h⁻¹, 26 °CSE1, n = 4 h⁻¹, 26 °CSE1, n = 6 h⁻¹, 26 °CSE1, n = 8 h⁻¹, 26 °C

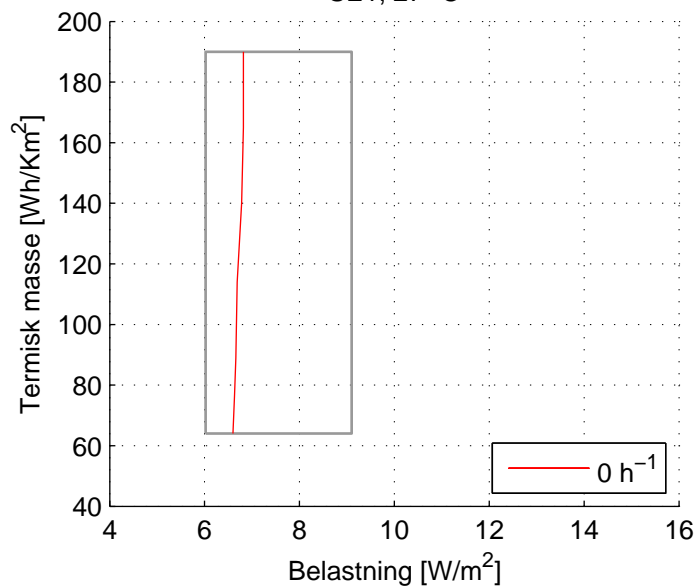
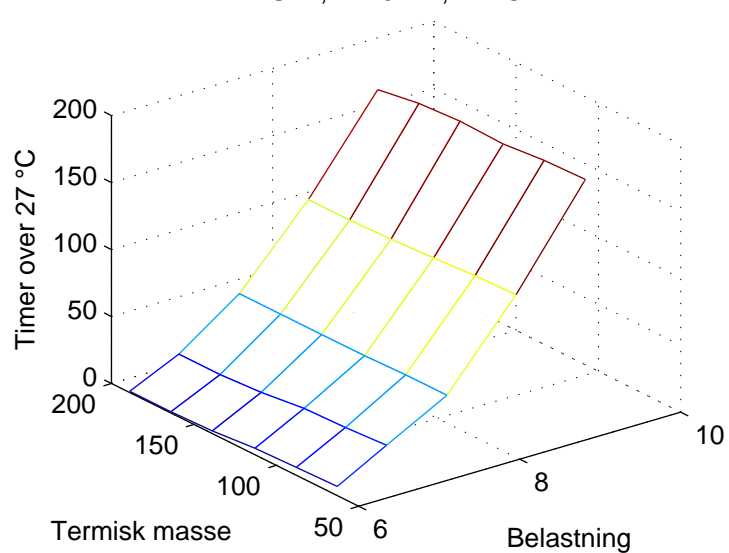
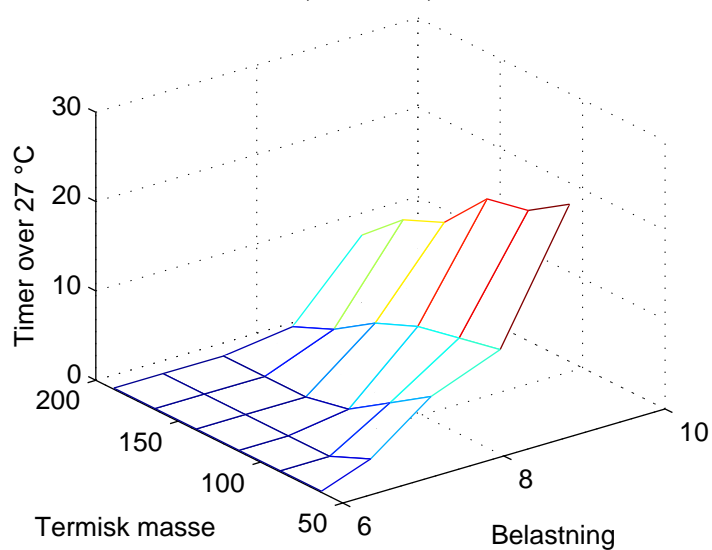
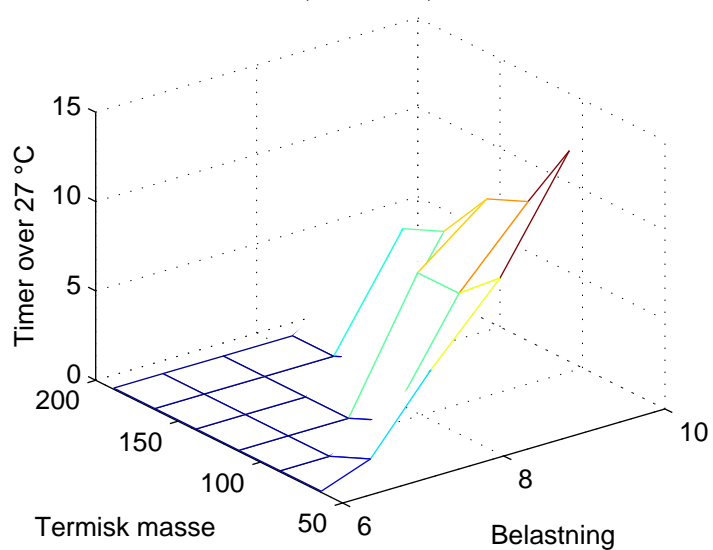
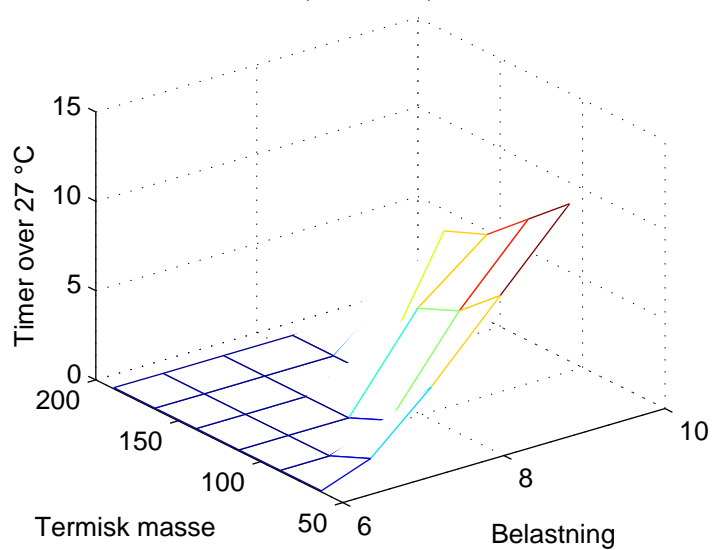
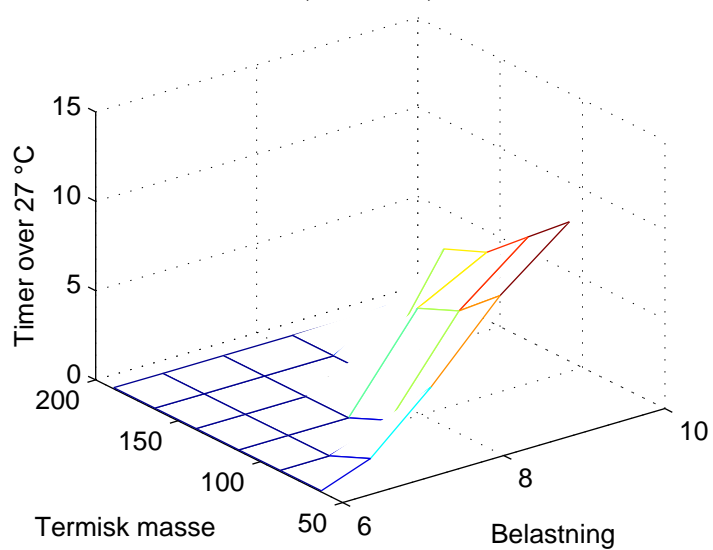
SE2, 26 °C

SE2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

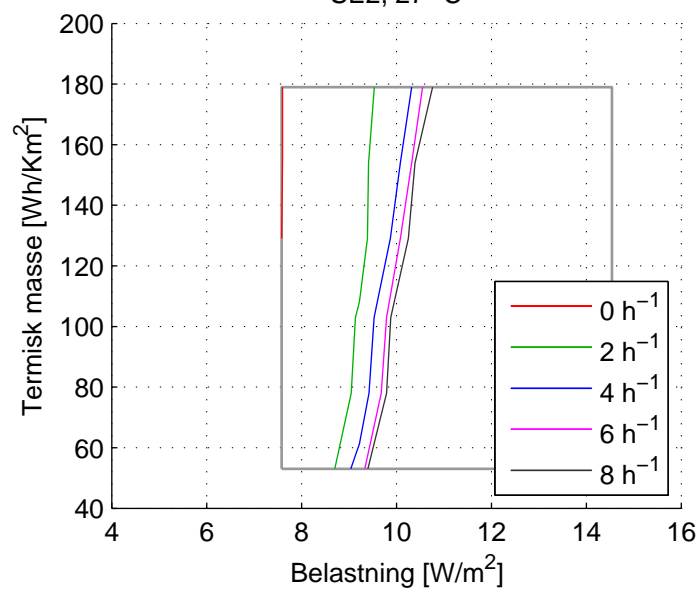
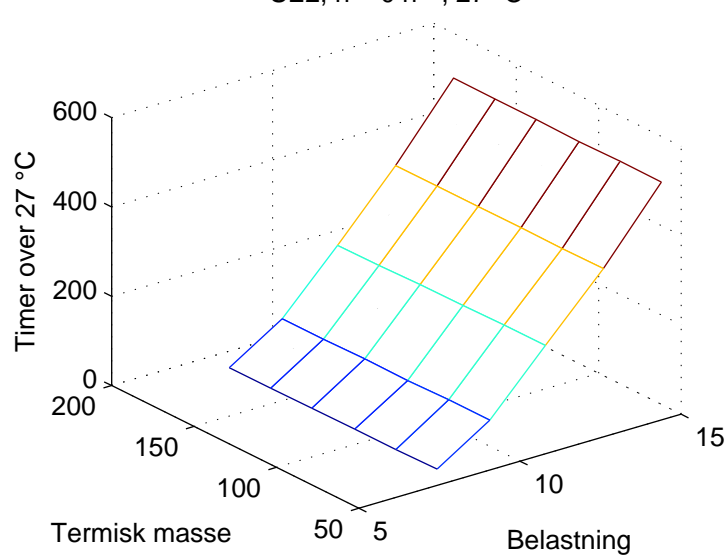
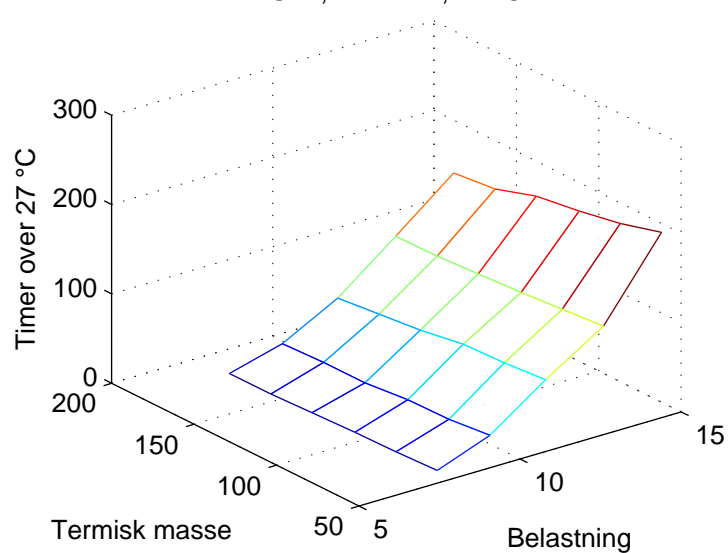
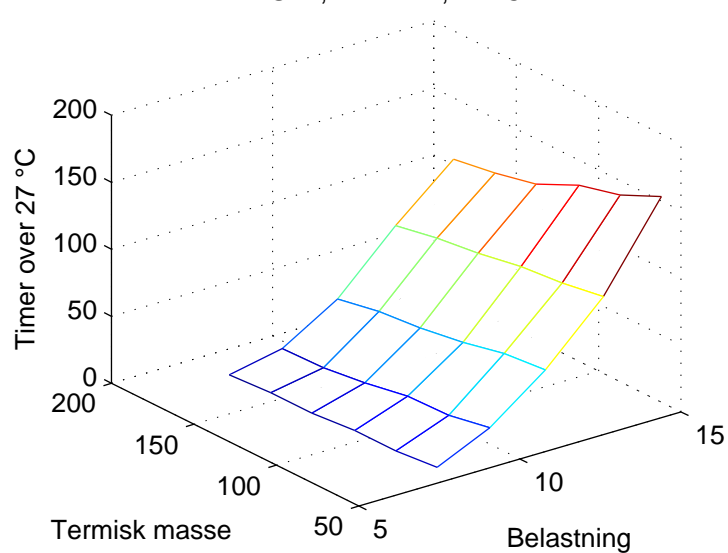
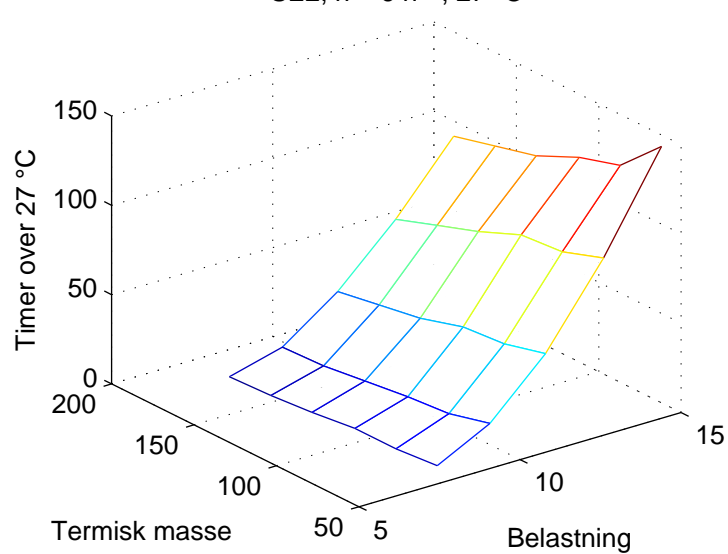
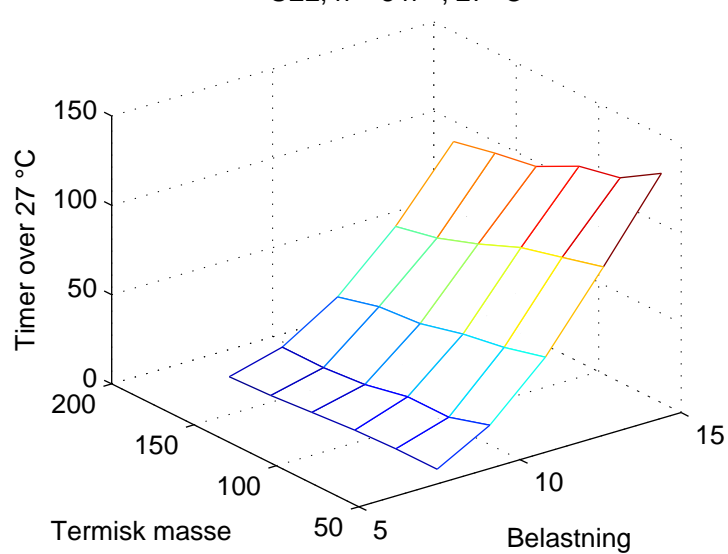
SE3, 26 °C

SE3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSE3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

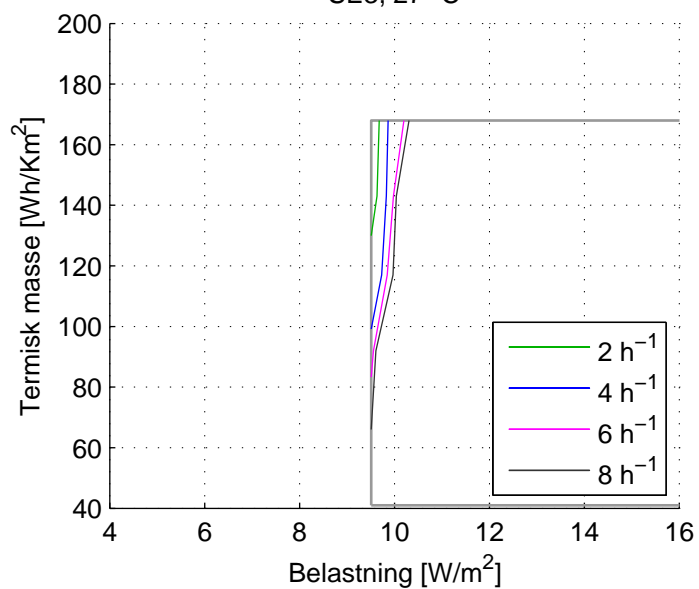
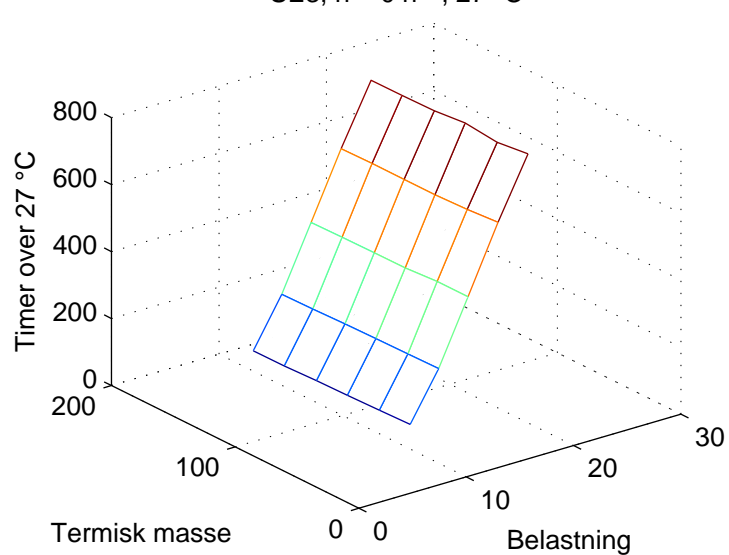
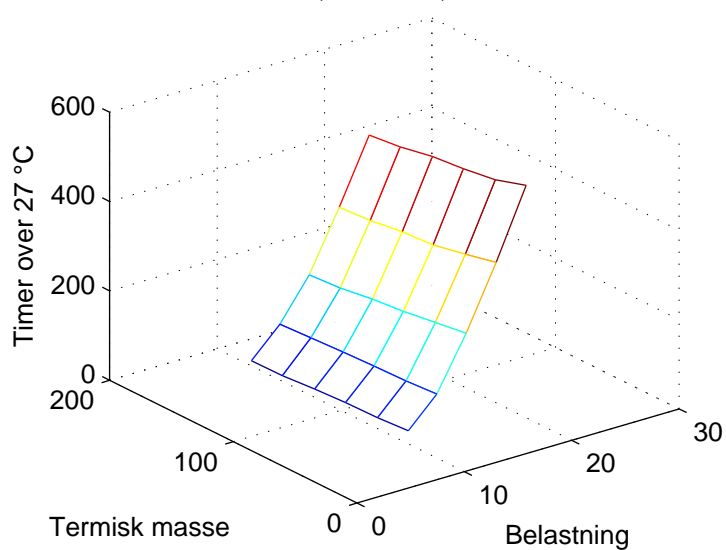
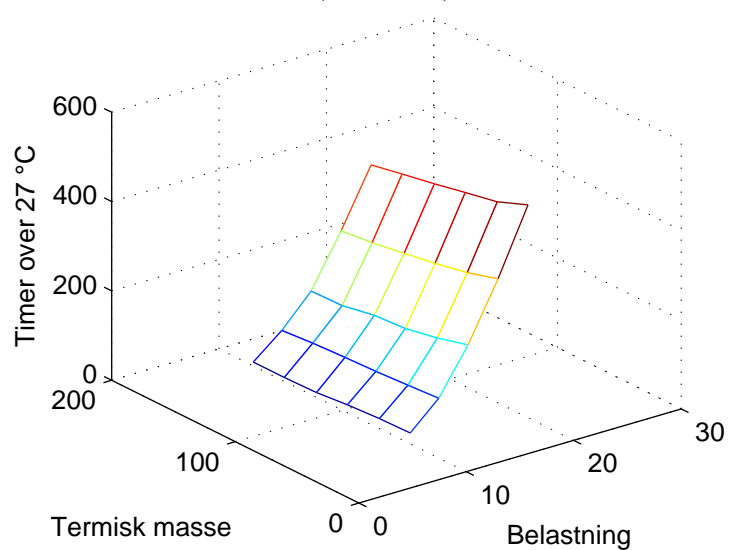
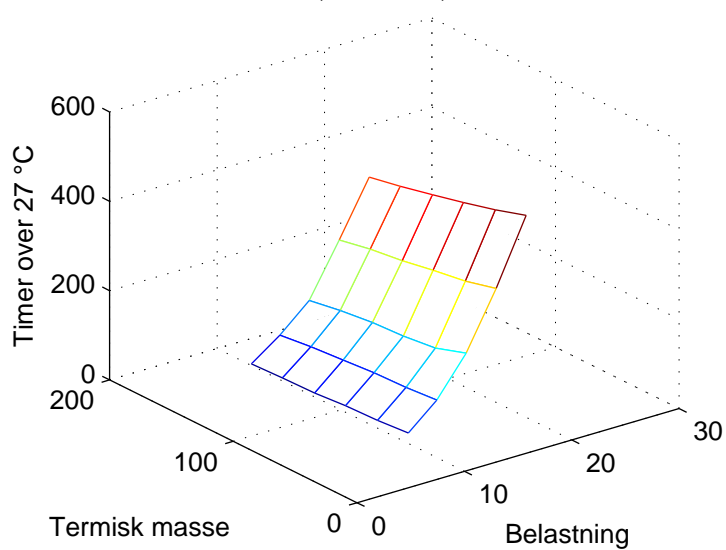
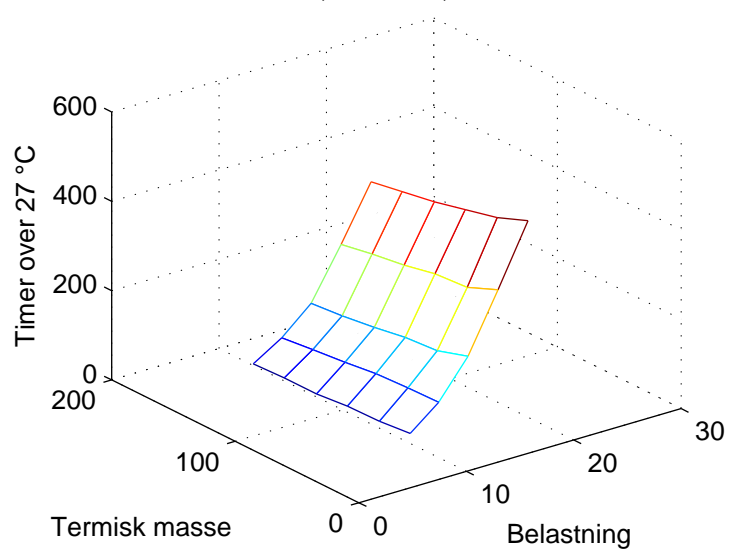
SE1, 27 °C

SE1, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE1, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE1, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE1, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE1, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

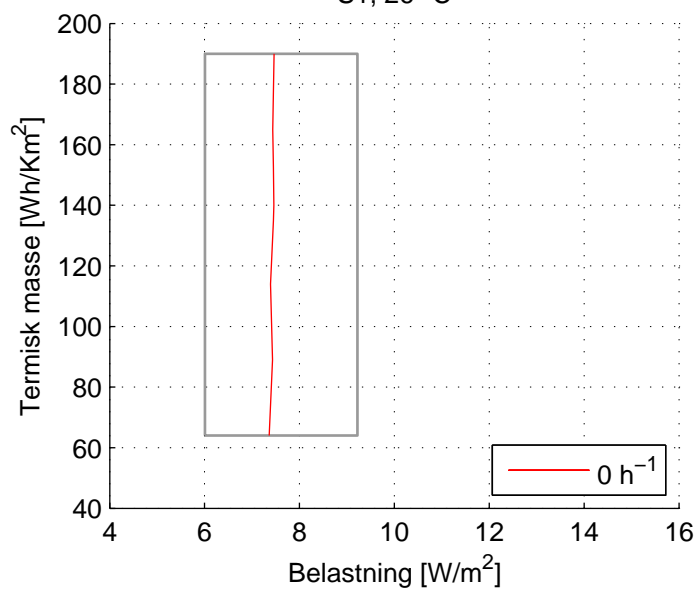
SE2, 27 °C

SE2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

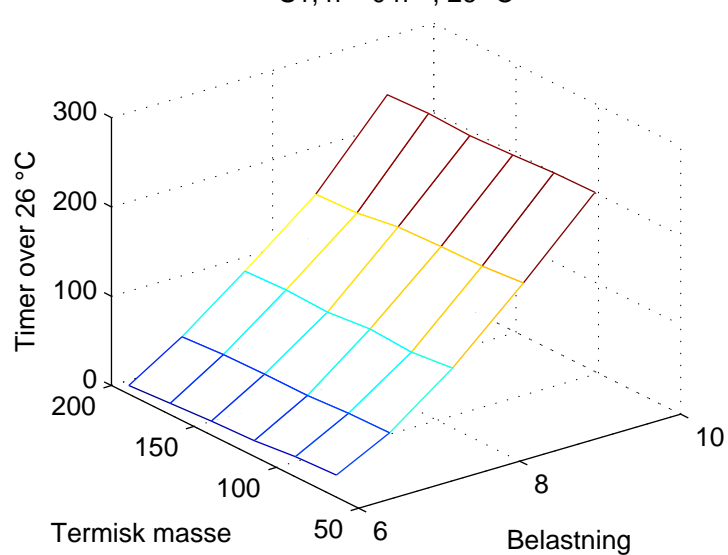
SE3, 27 °C

SE3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSE3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

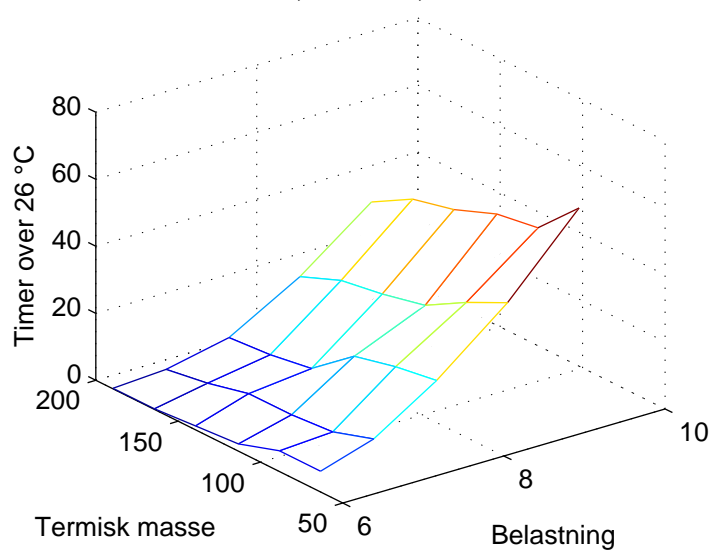
S1, 26 °C



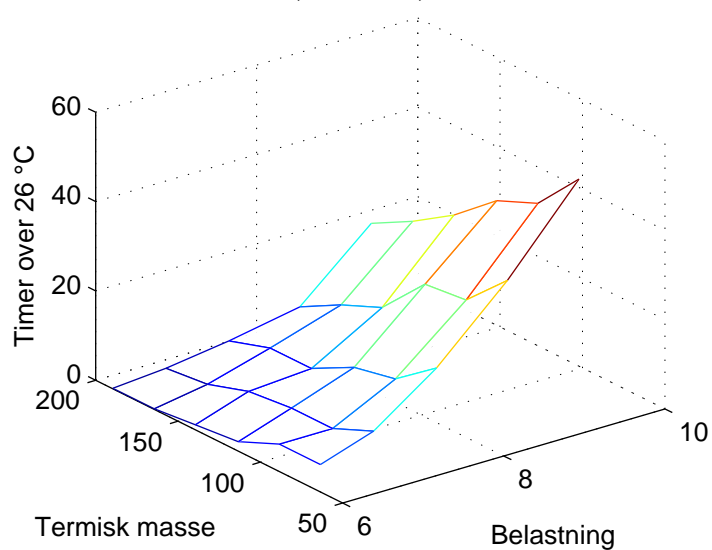
S1, n = 0 h⁻¹, 26 °C



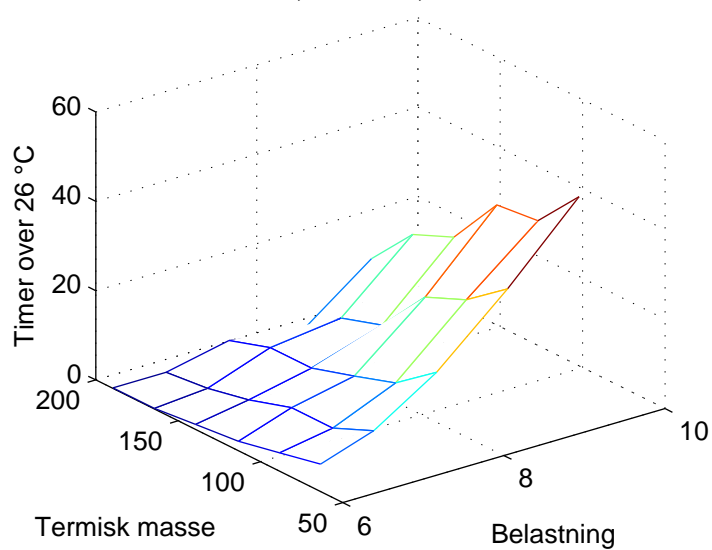
S1, n = 2 h⁻¹, 26 °C



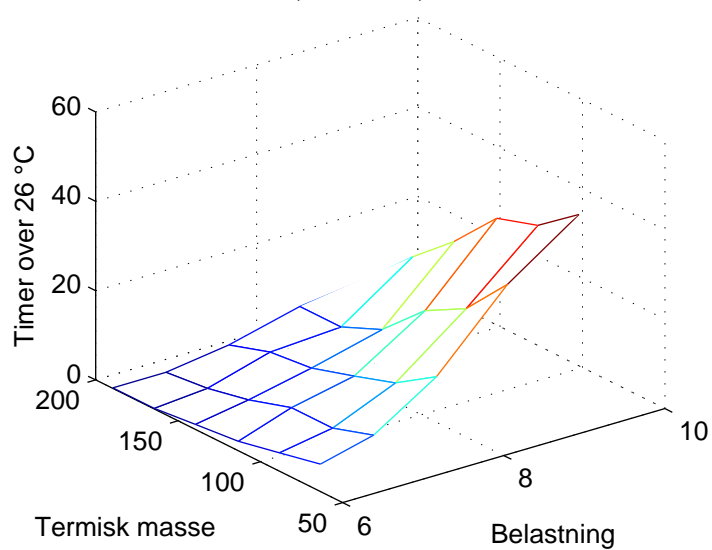
S1, n = 4 h⁻¹, 26 °C



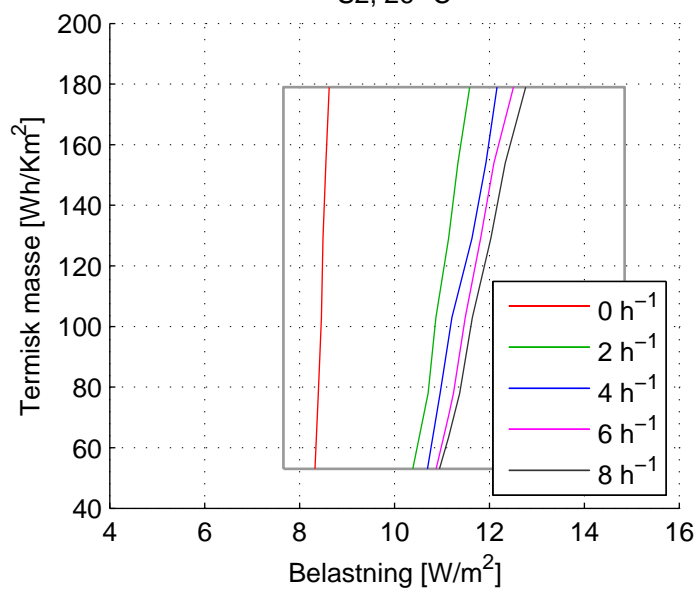
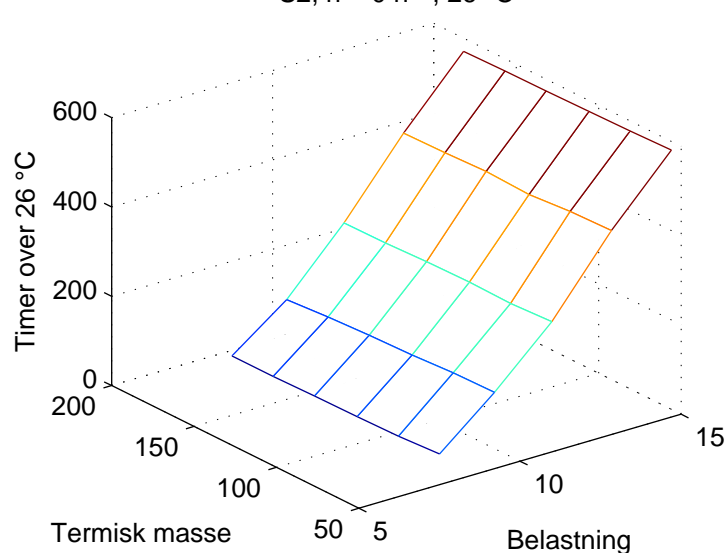
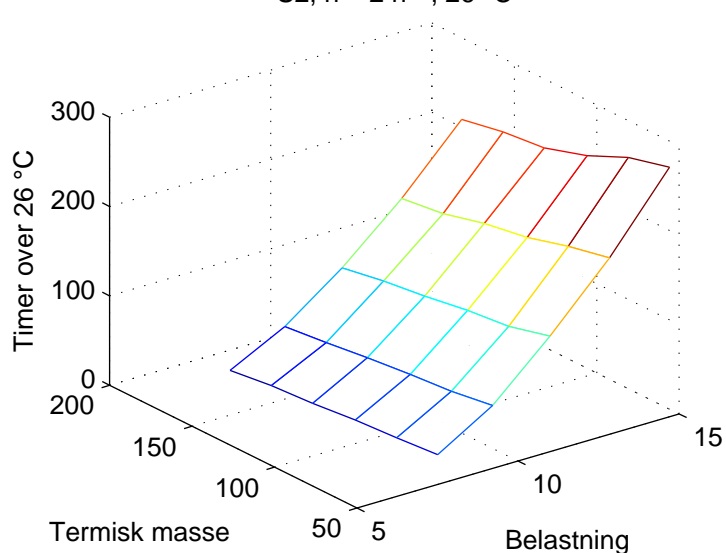
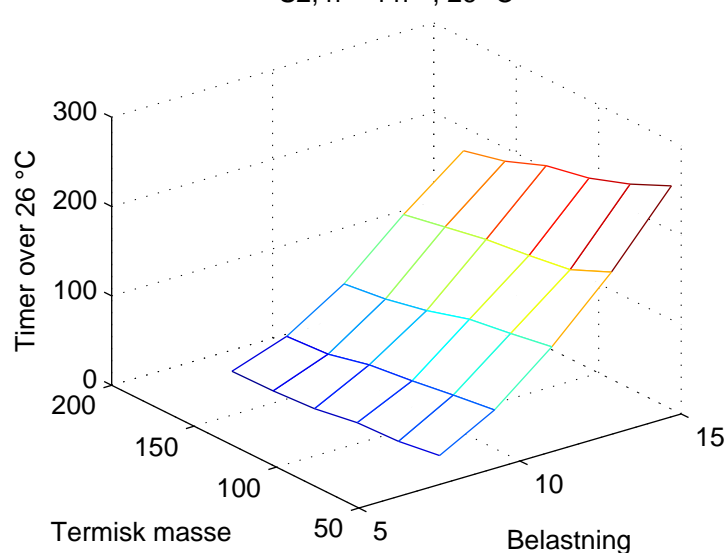
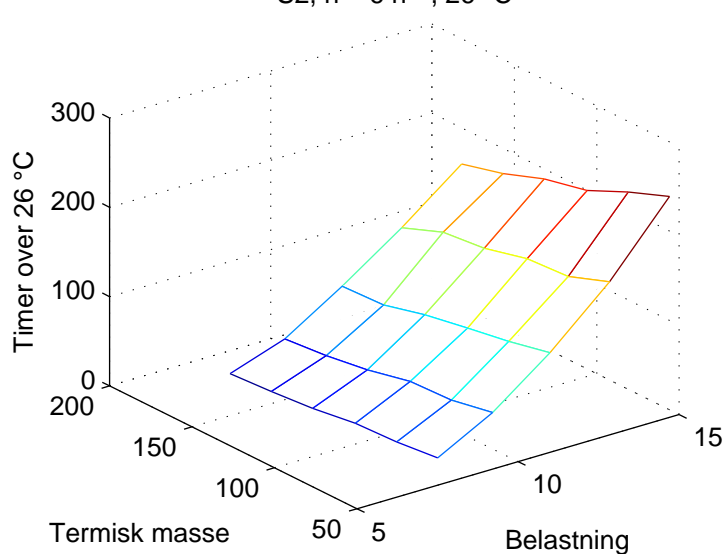
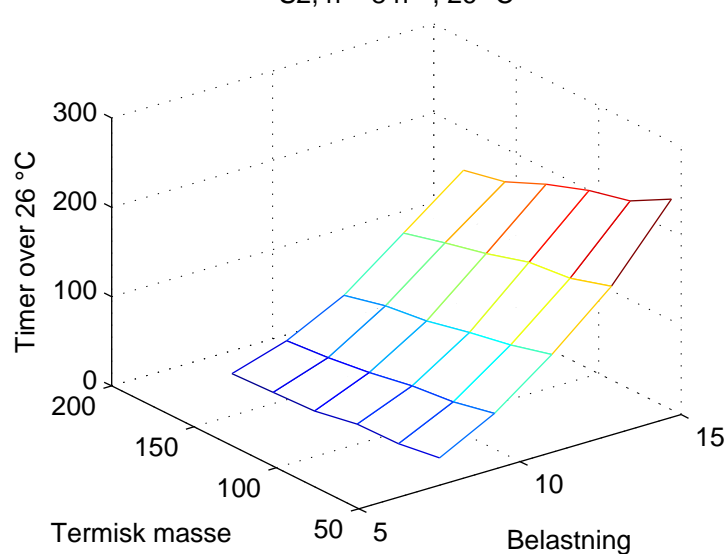
S1, n = 6 h⁻¹, 26 °C



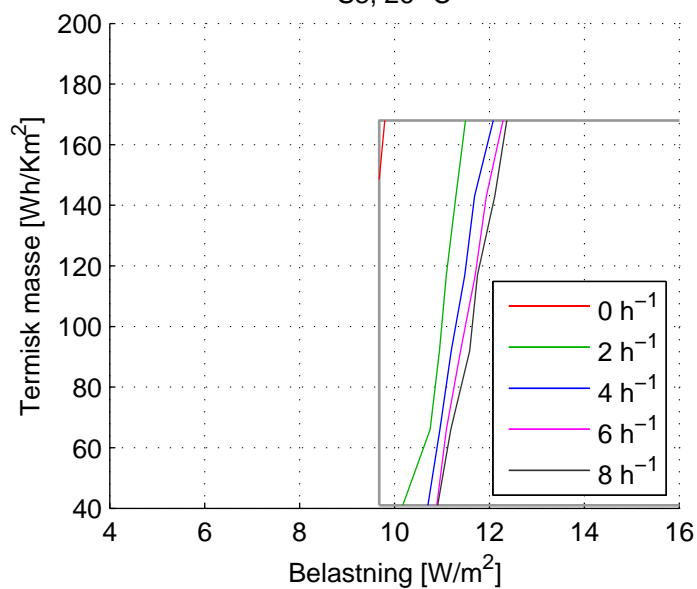
S1, n = 8 h⁻¹, 26 °C



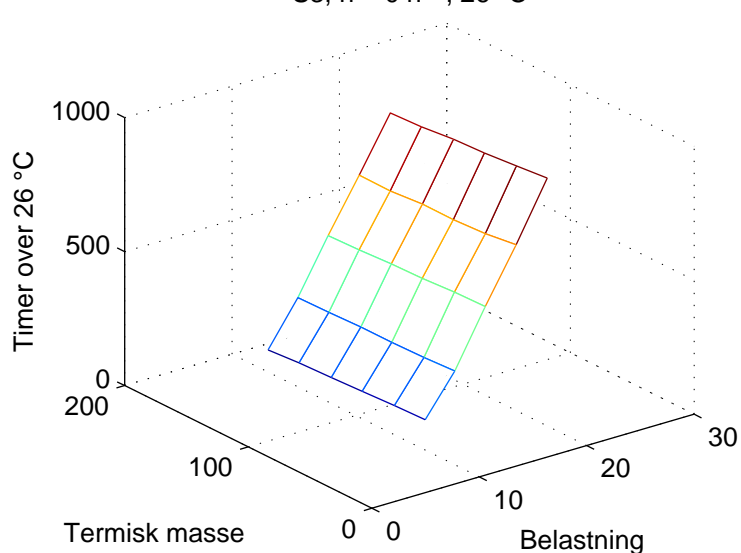
S2, 26 °C

S2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CS2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CS2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CS2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CS2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

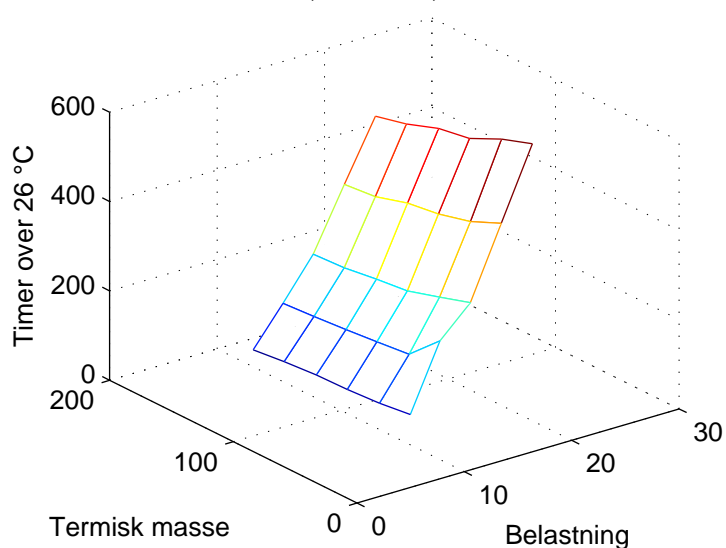
S3, 26 °C



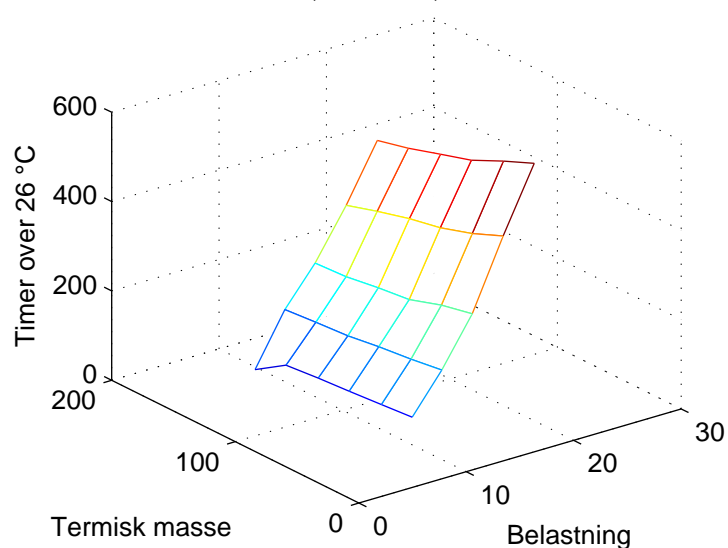
S3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



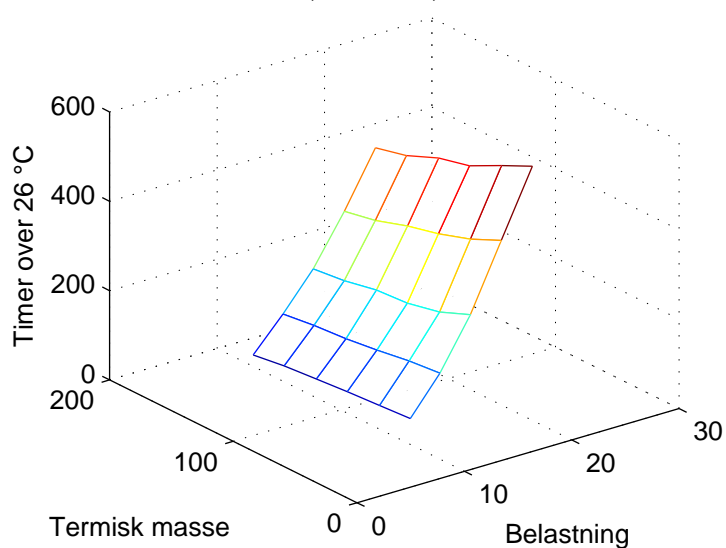
S3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



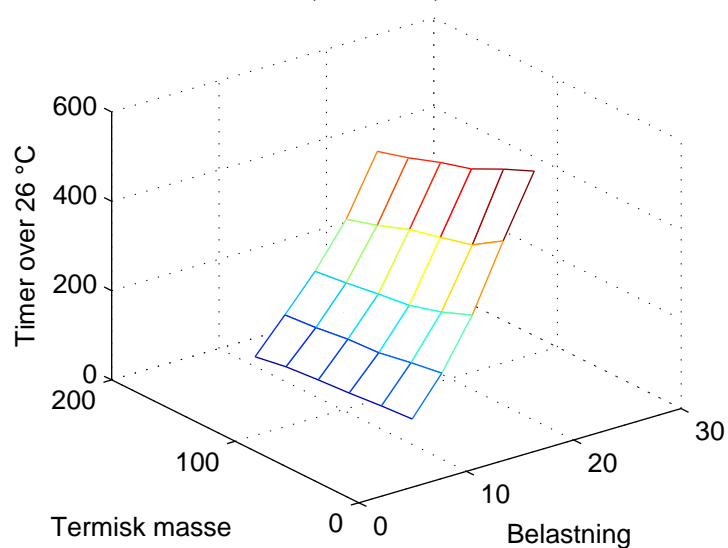
S3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



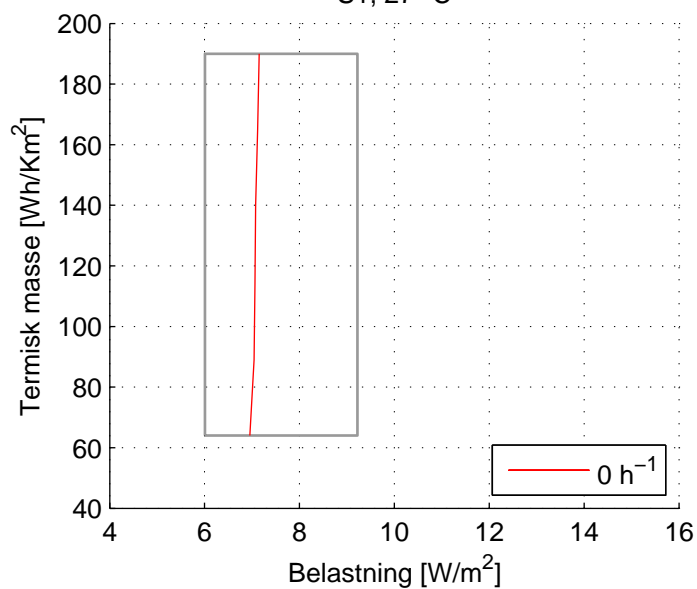
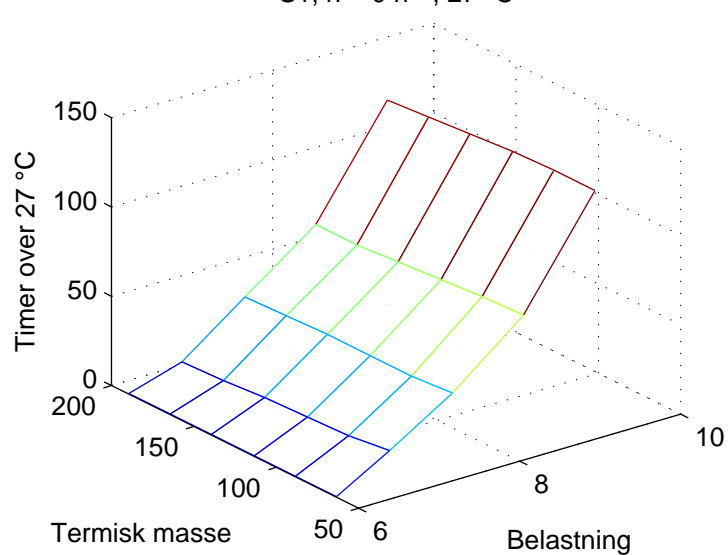
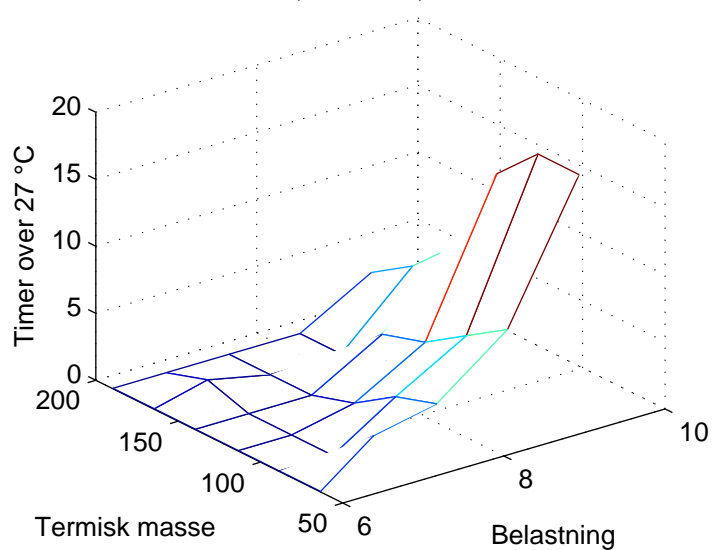
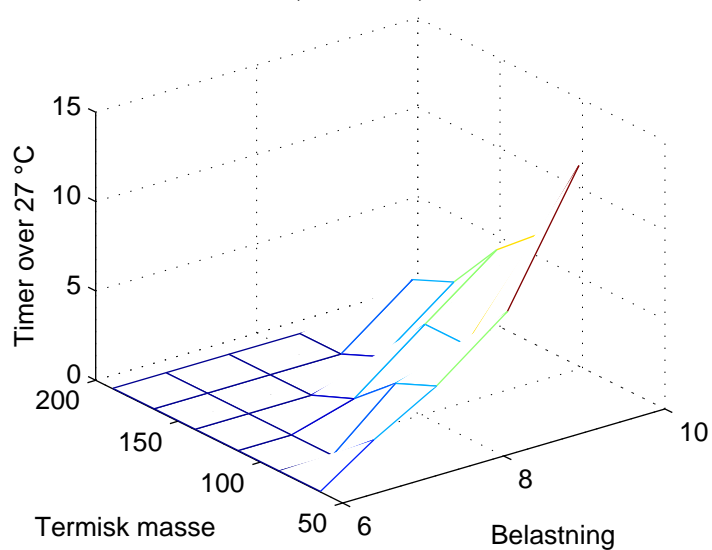
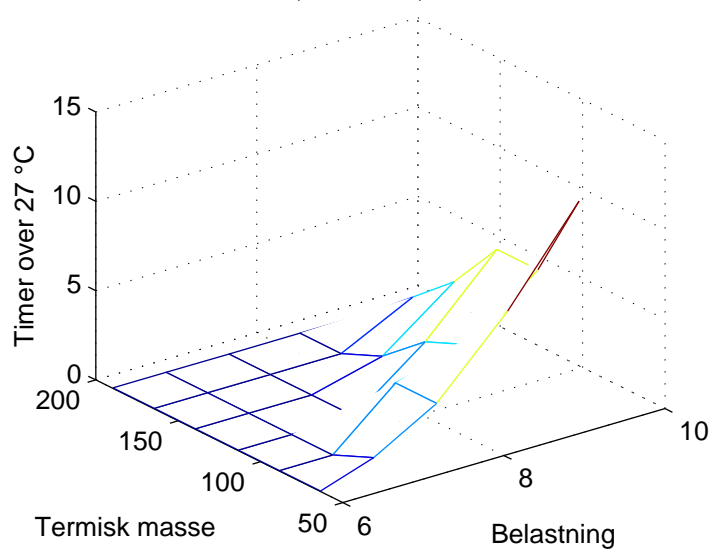
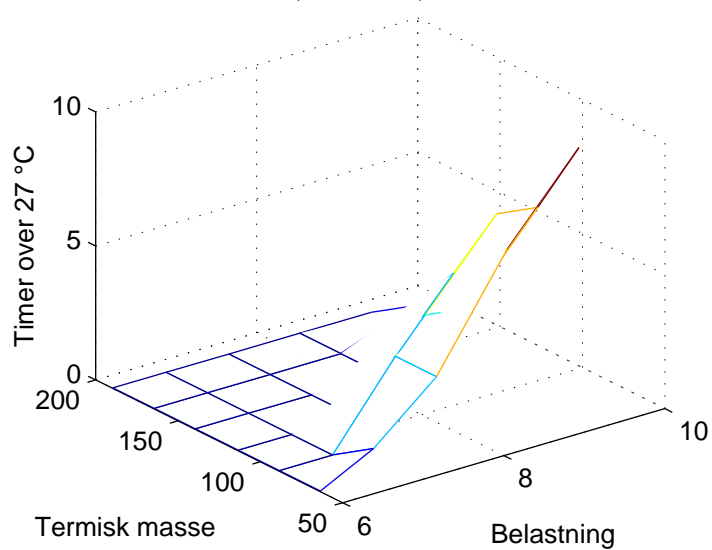
S3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



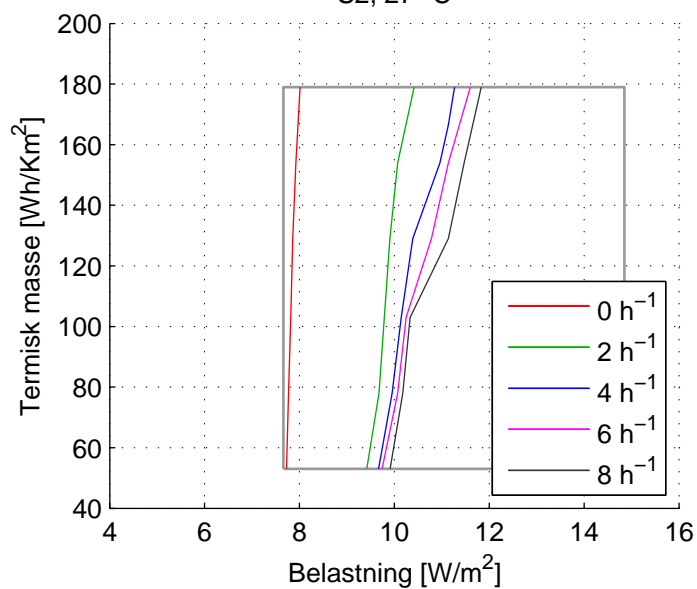
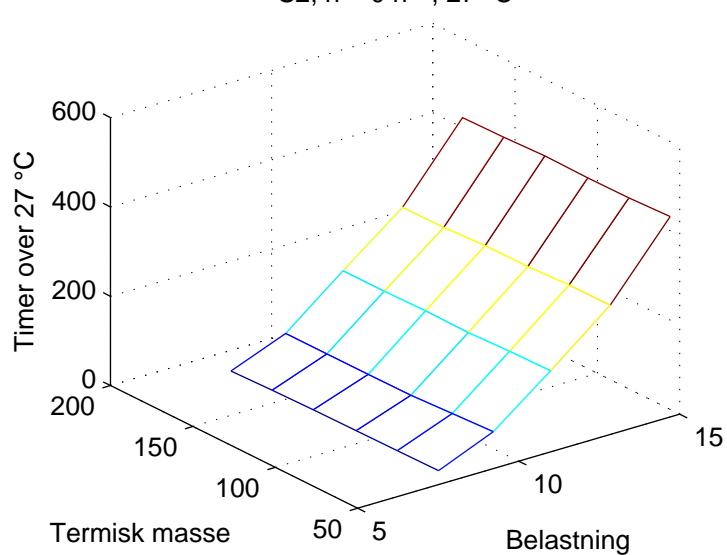
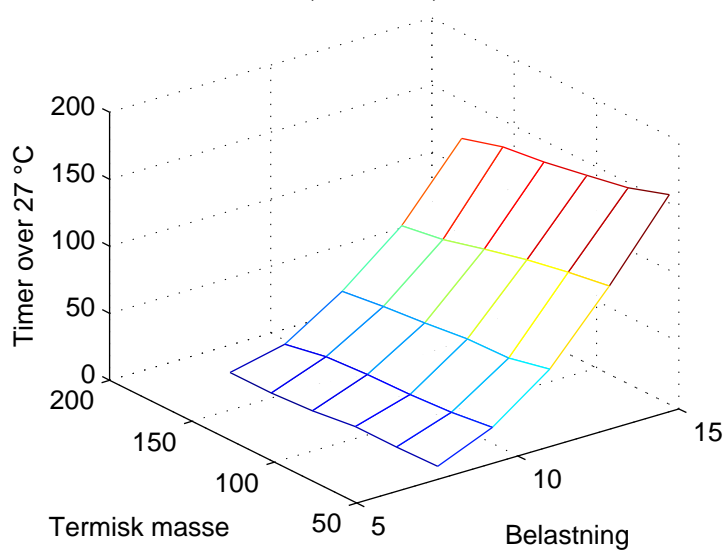
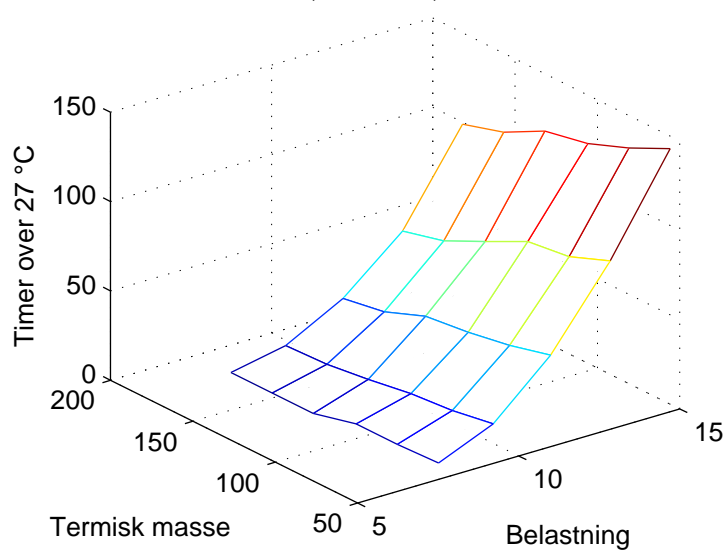
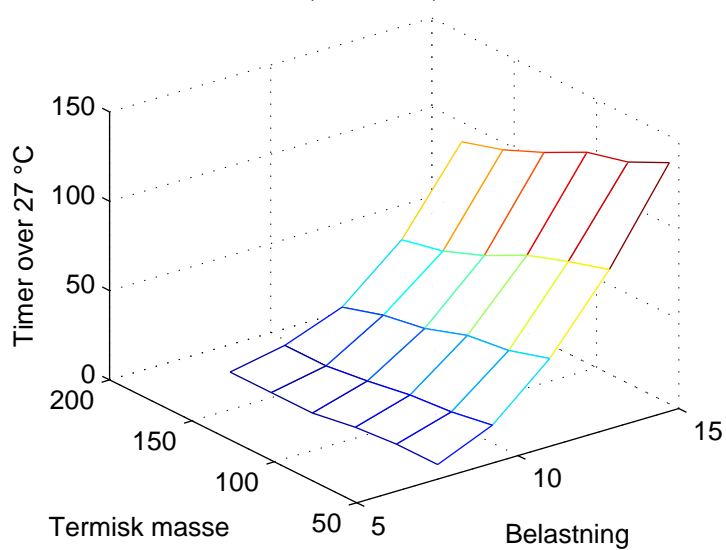
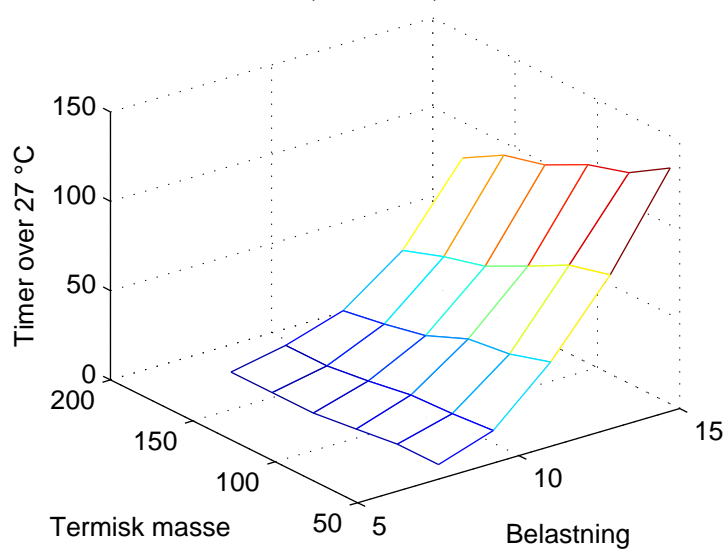
S3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



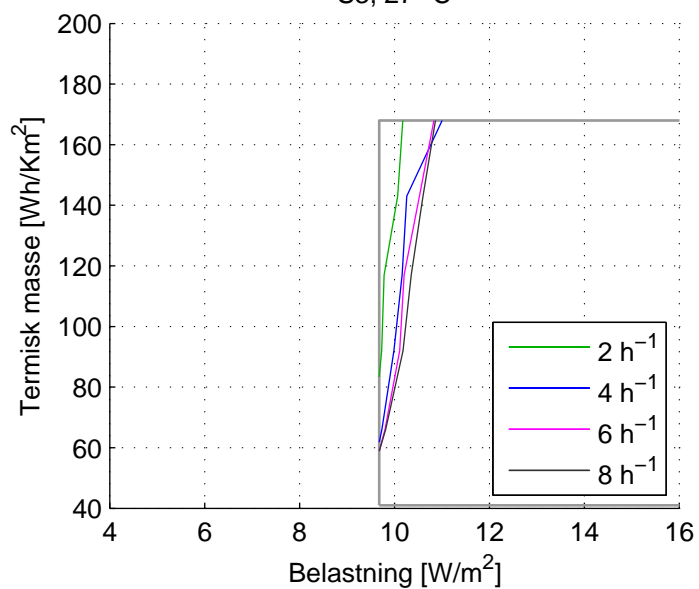
S1, 27 °C

S1, n = 0 h⁻¹, 27 °CS1, n = 2 h⁻¹, 27 °CS1, n = 4 h⁻¹, 27 °CS1, n = 6 h⁻¹, 27 °CS1, n = 8 h⁻¹, 27 °C

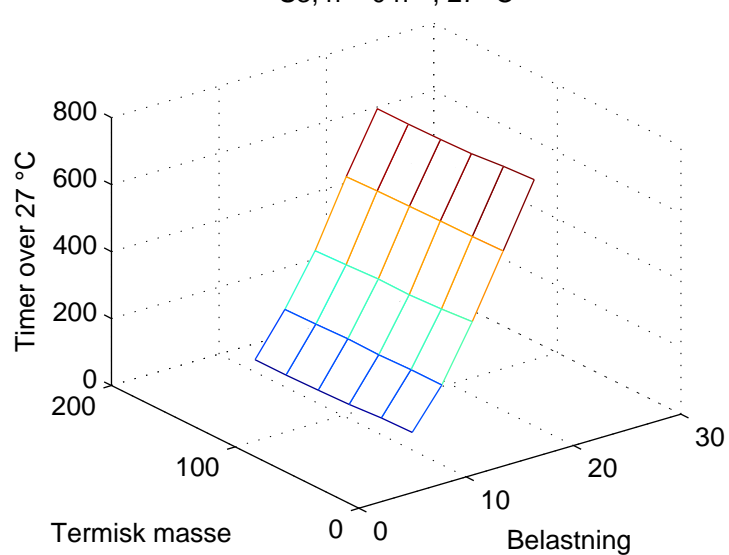
S2, 27 °C

S2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CS2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CS2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CS2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CS2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

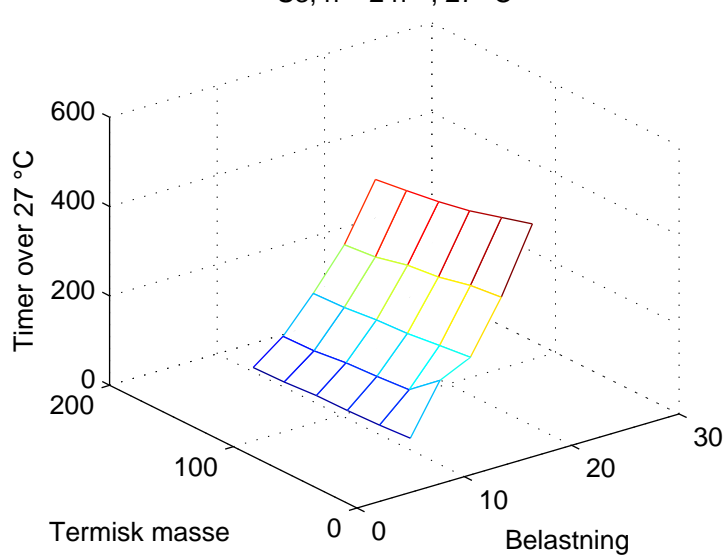
S3, 27 °C



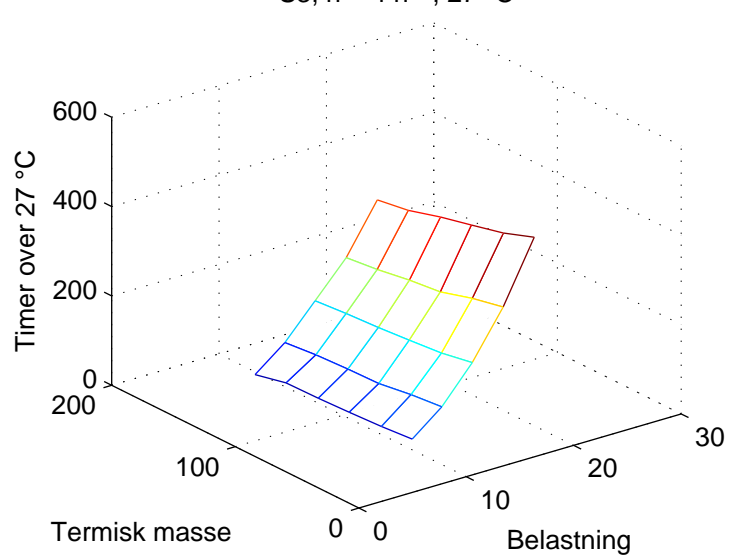
S3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



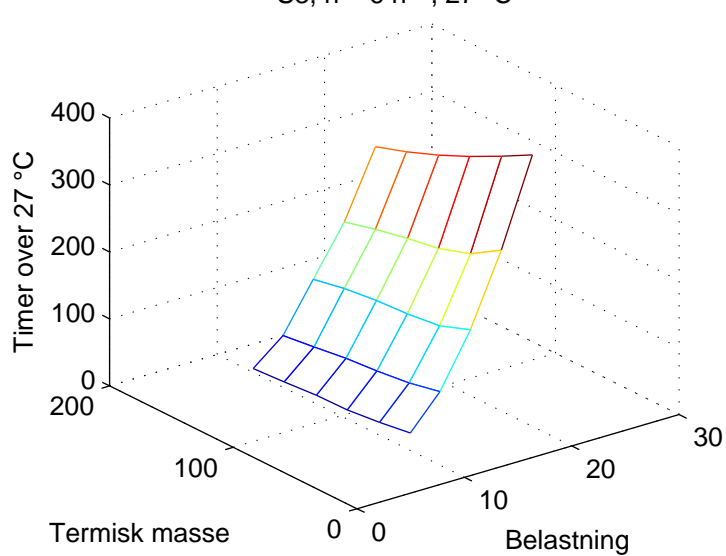
S3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



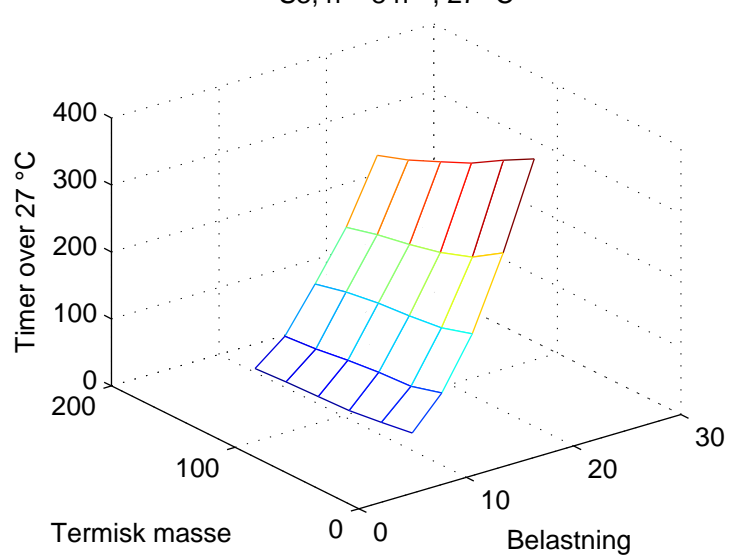
S3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



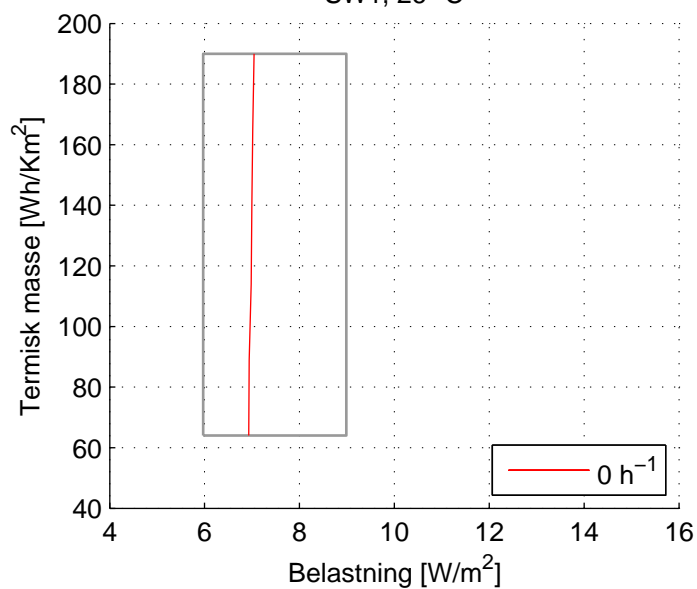
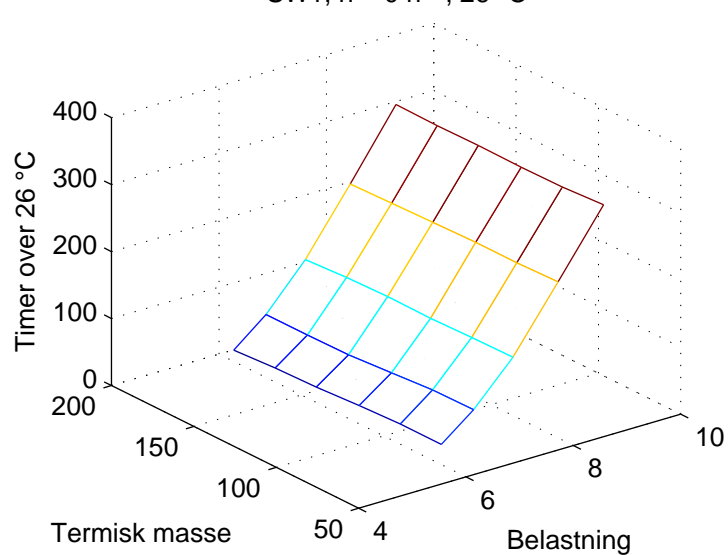
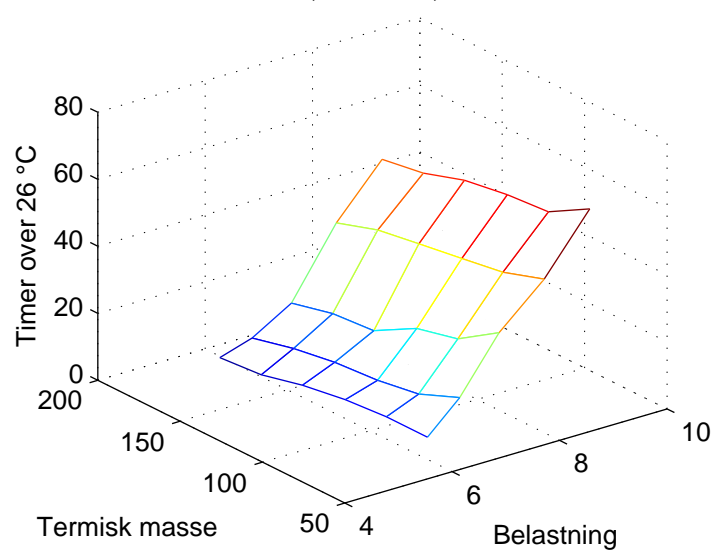
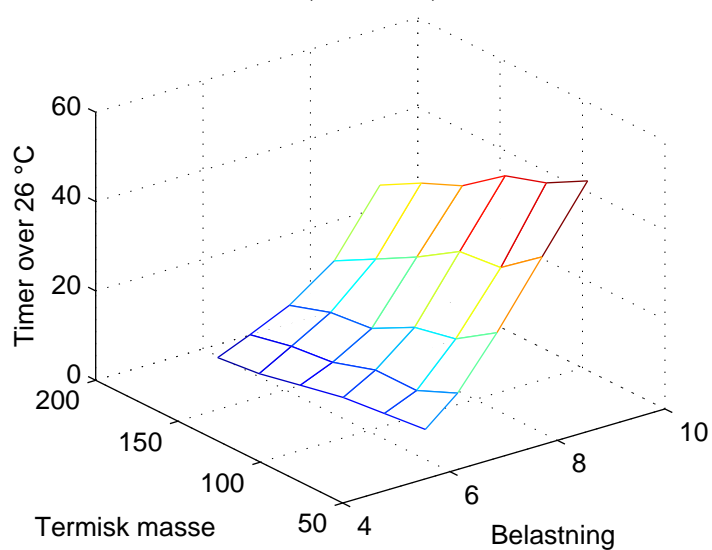
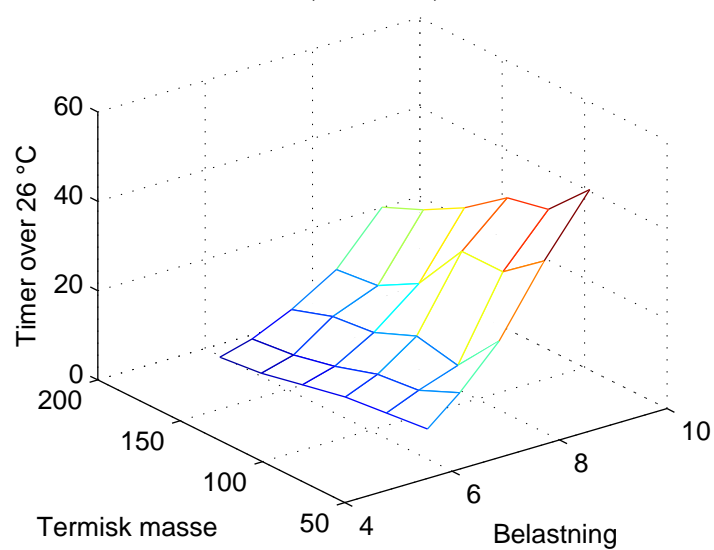
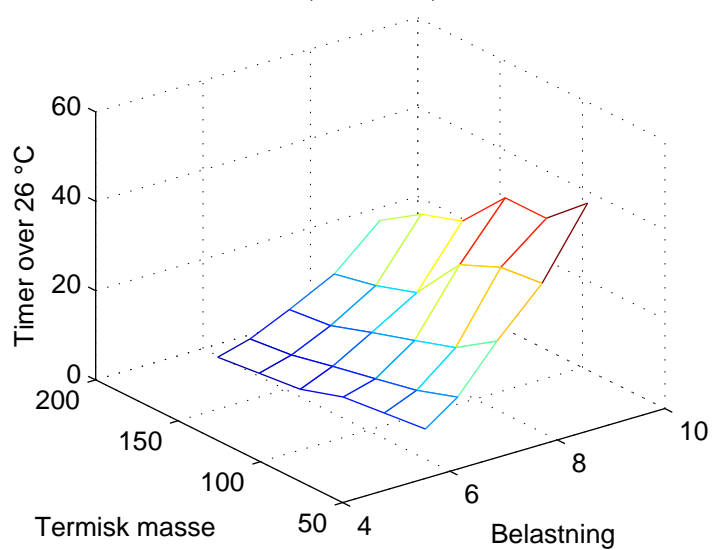
S3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



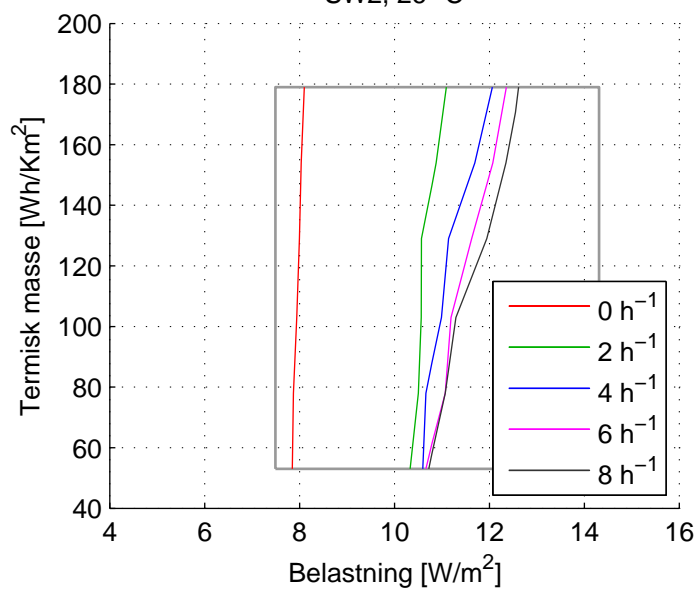
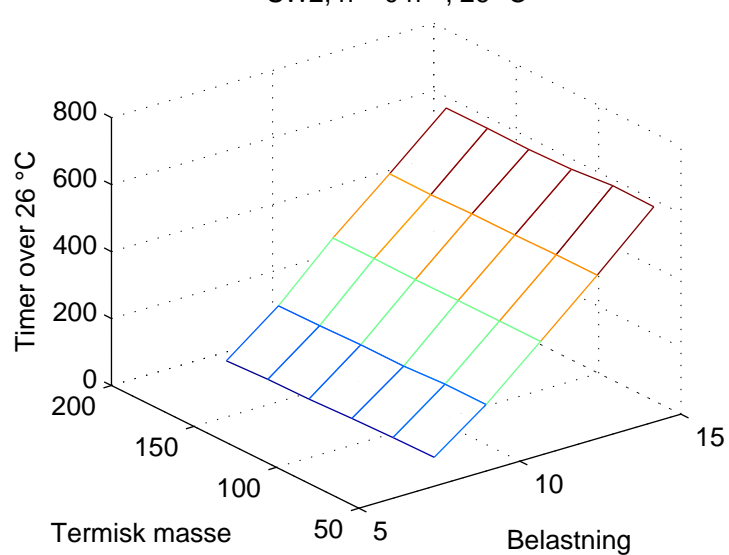
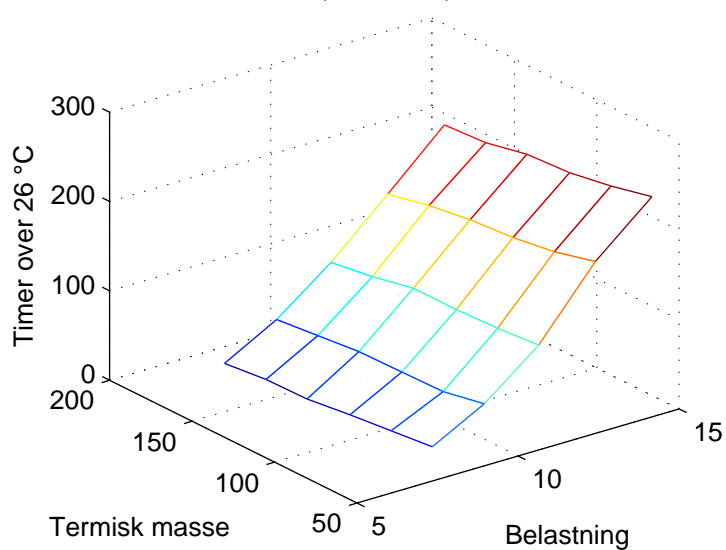
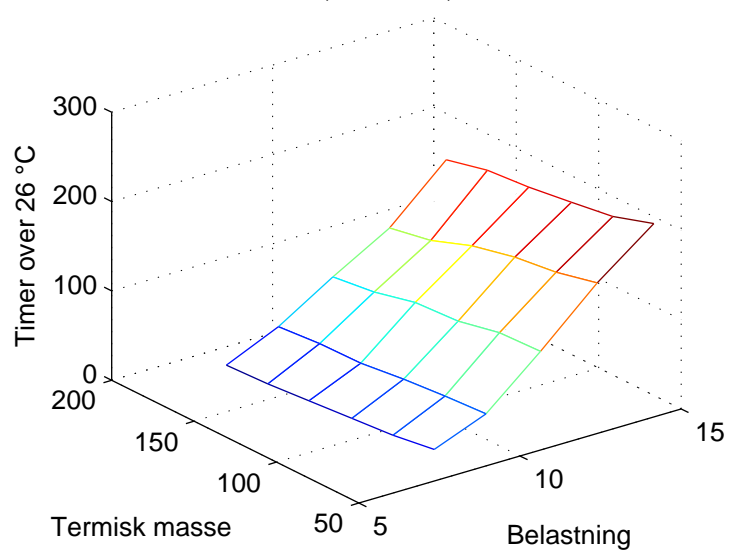
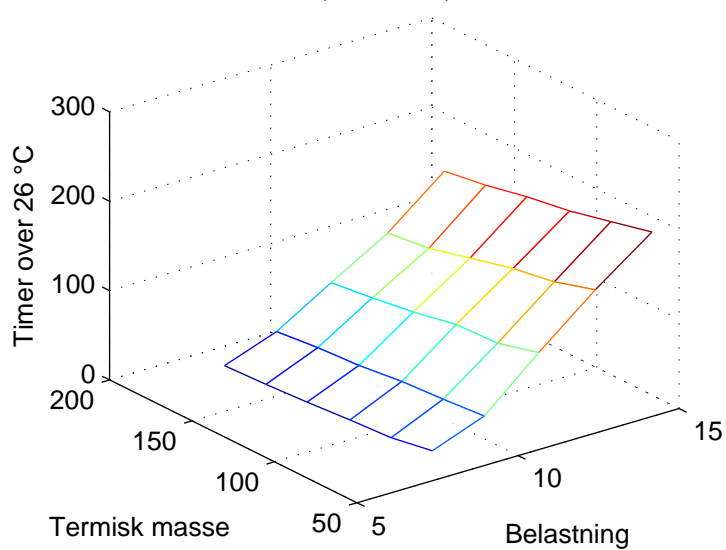
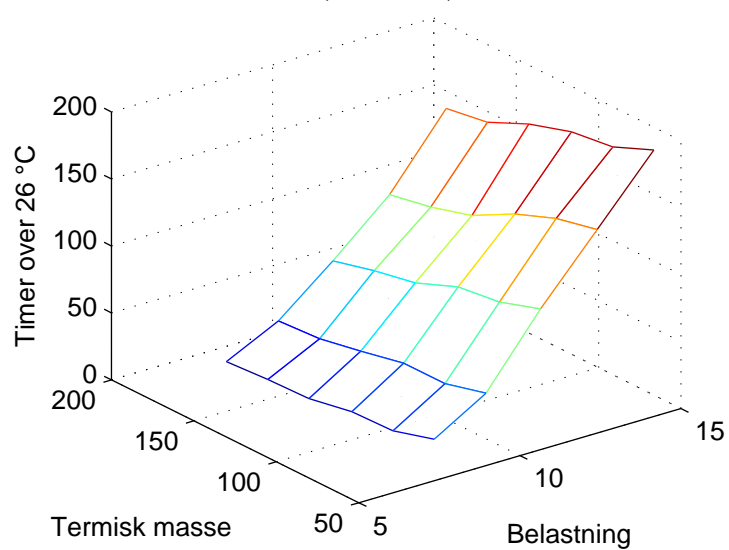
S3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



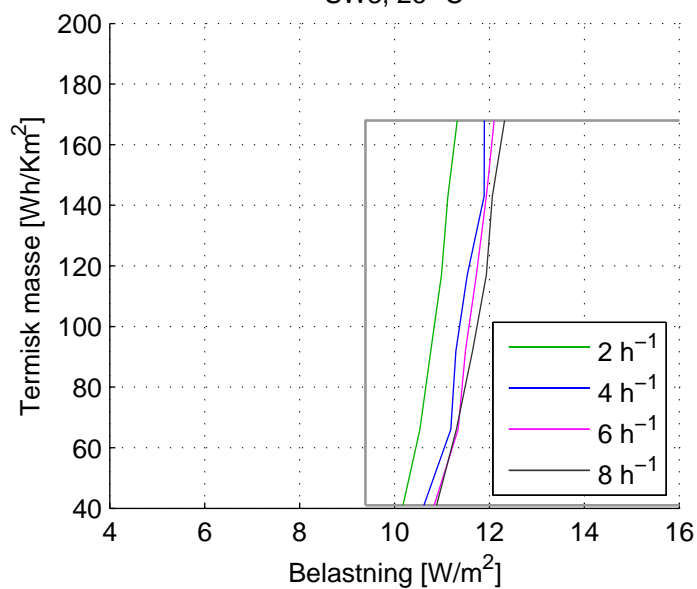
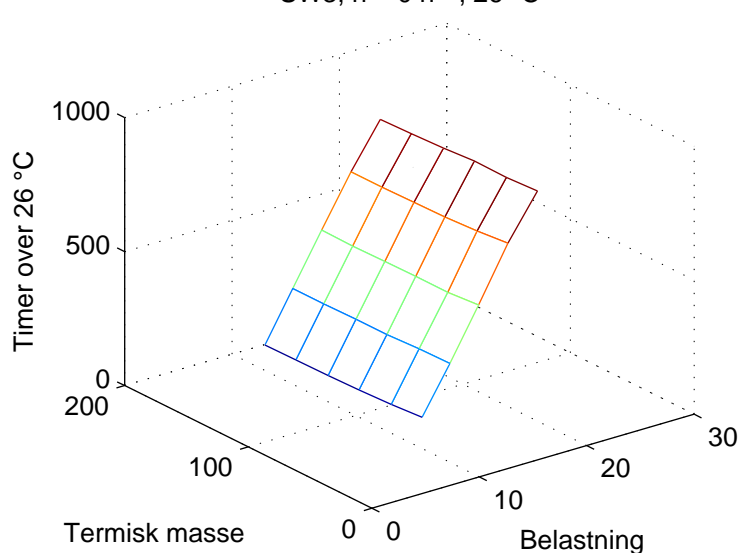
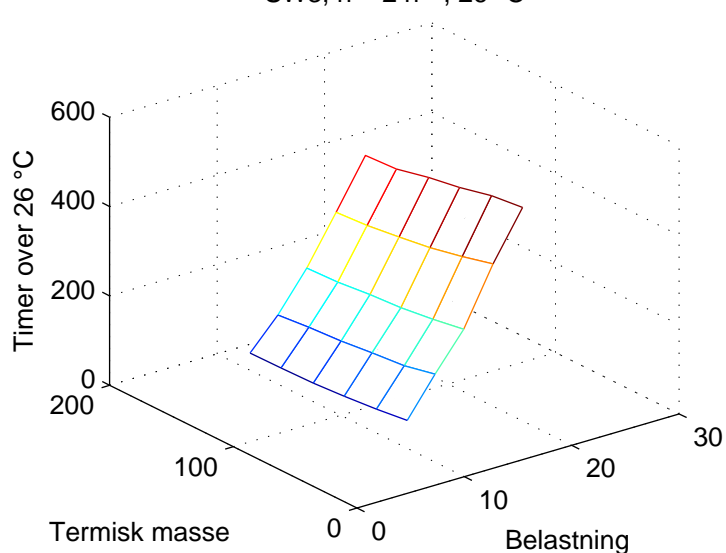
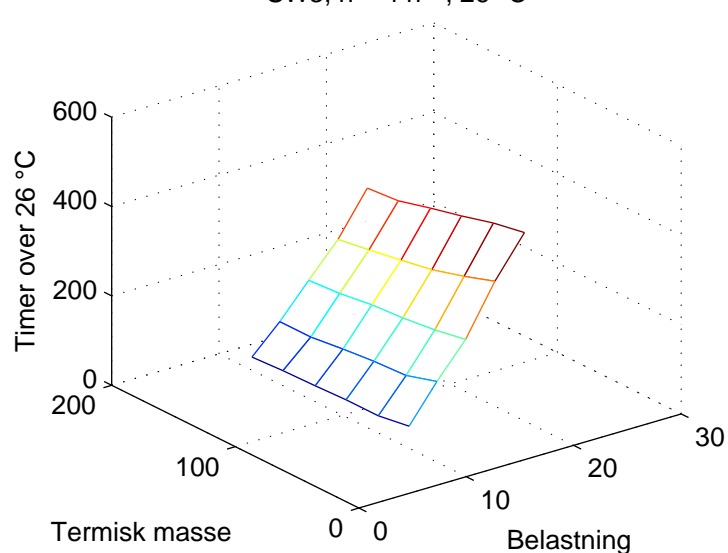
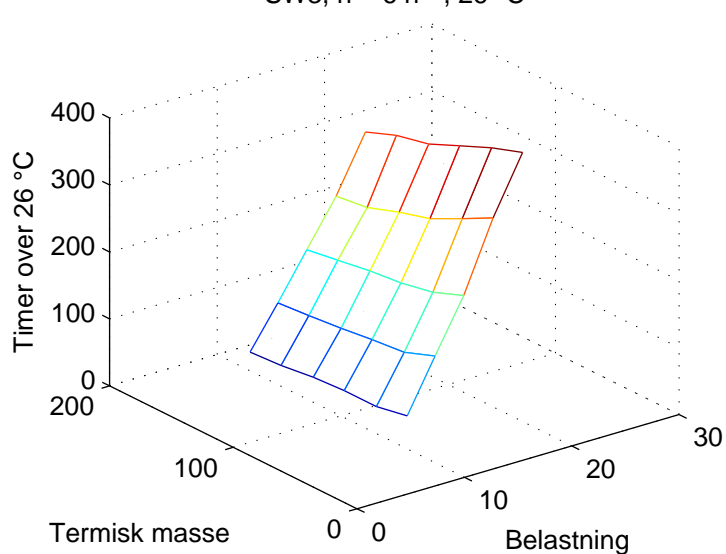
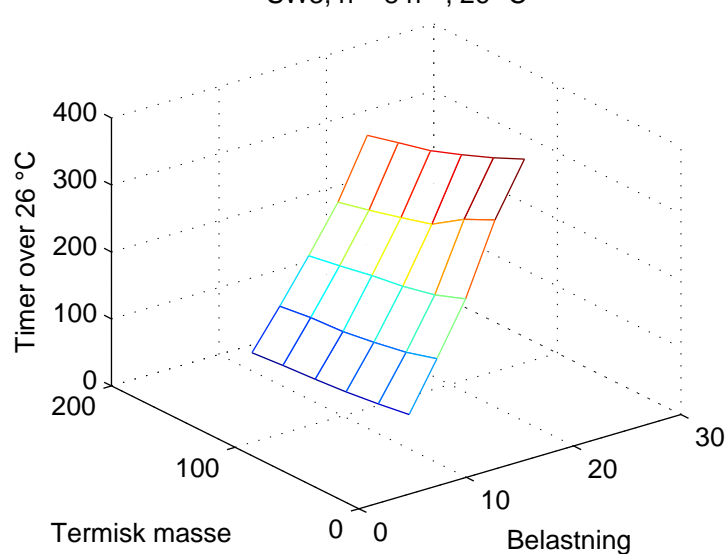
SW1, 26 °C

SW1, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW1, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW1, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW1, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW1, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

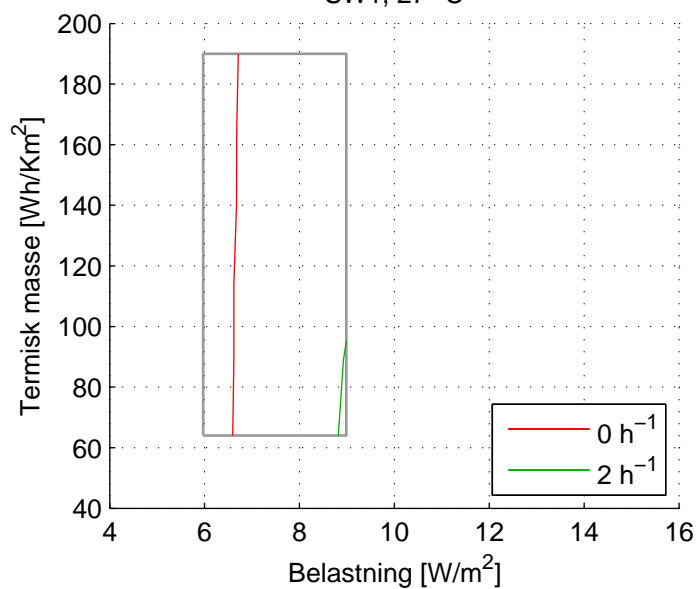
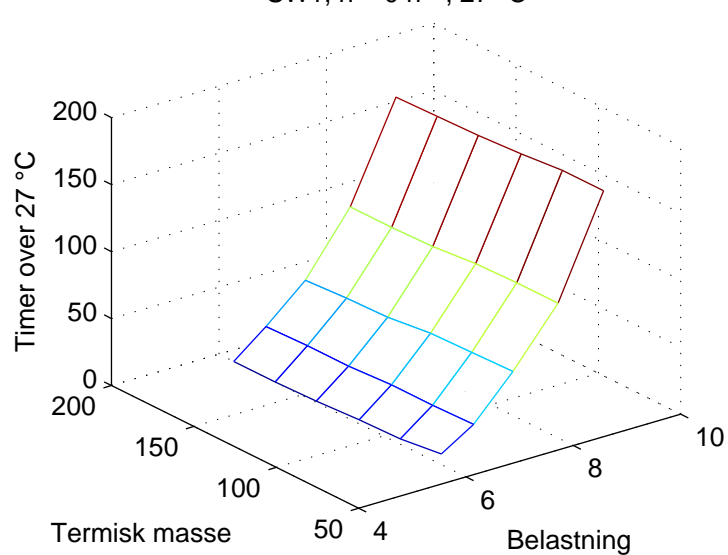
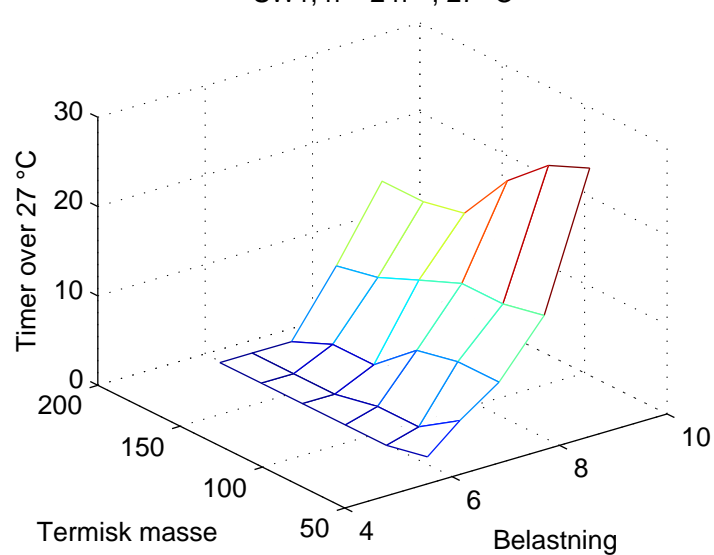
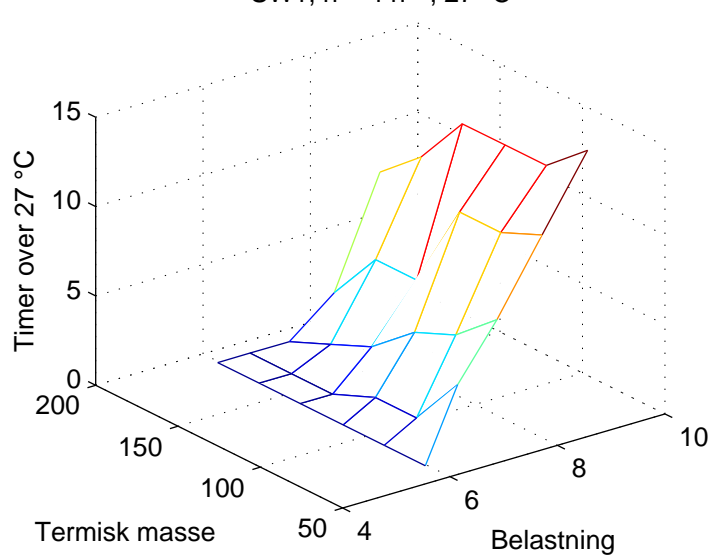
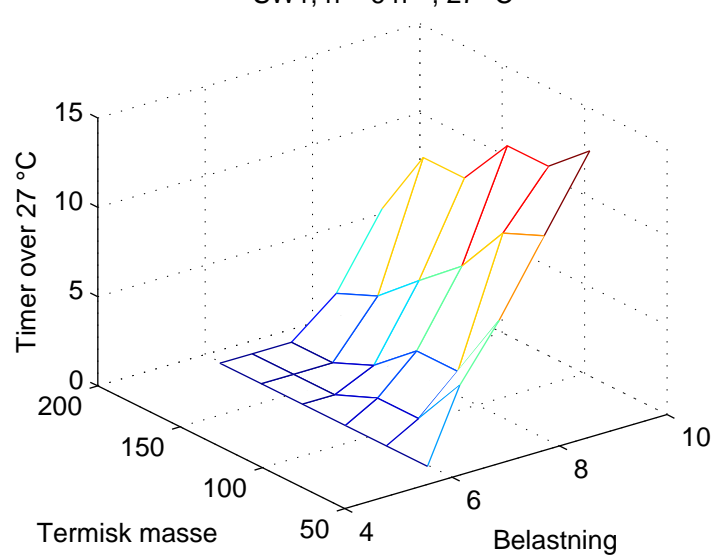
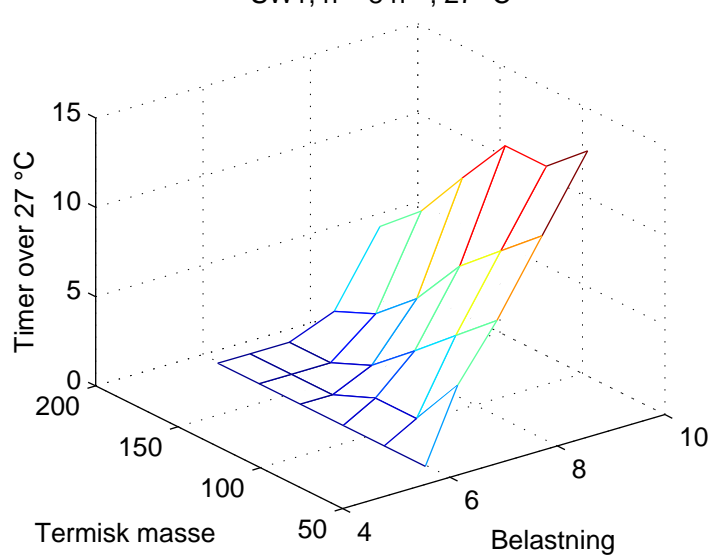
SW2, 26 °C

SW2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

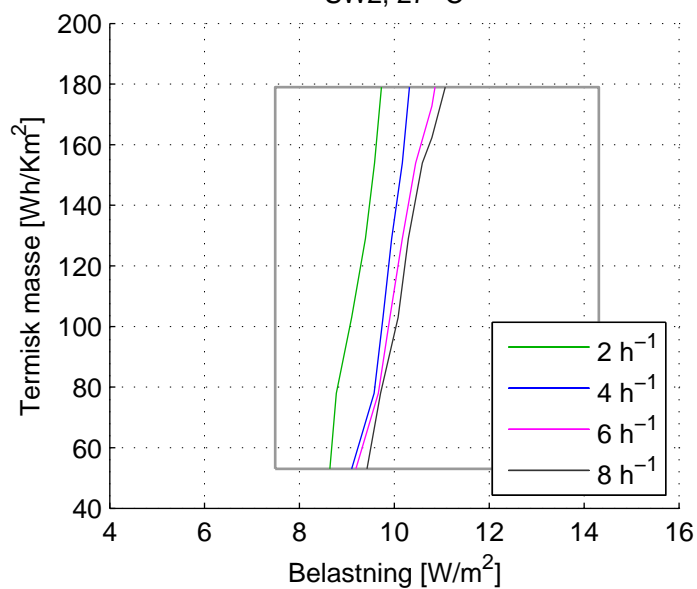
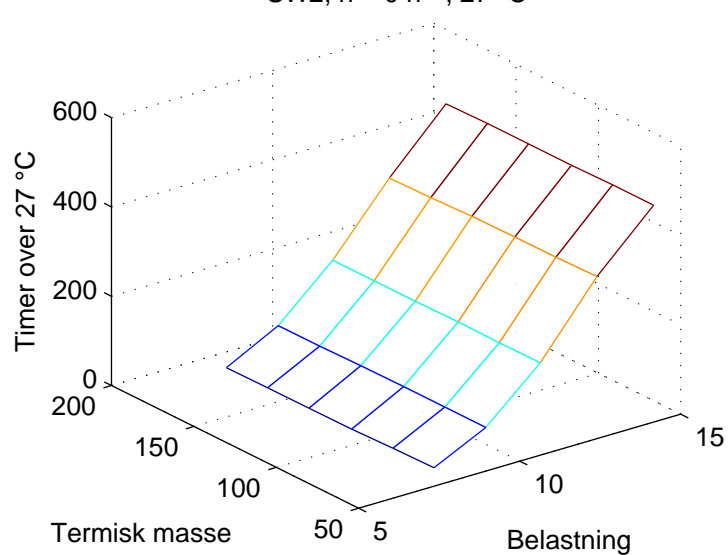
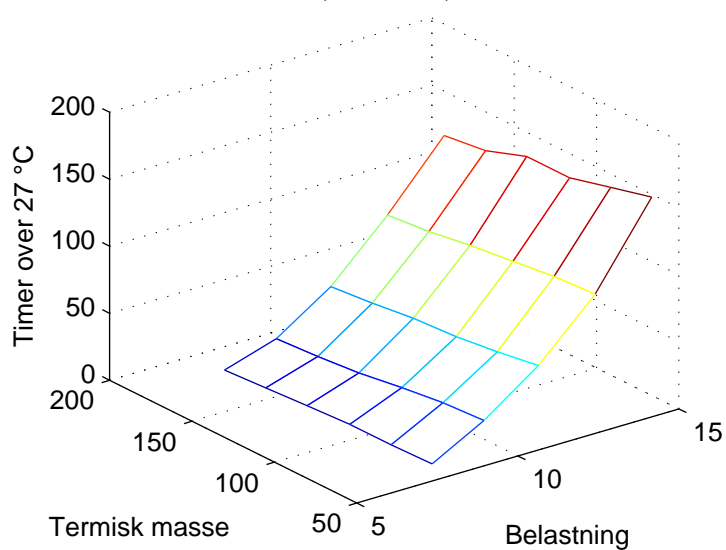
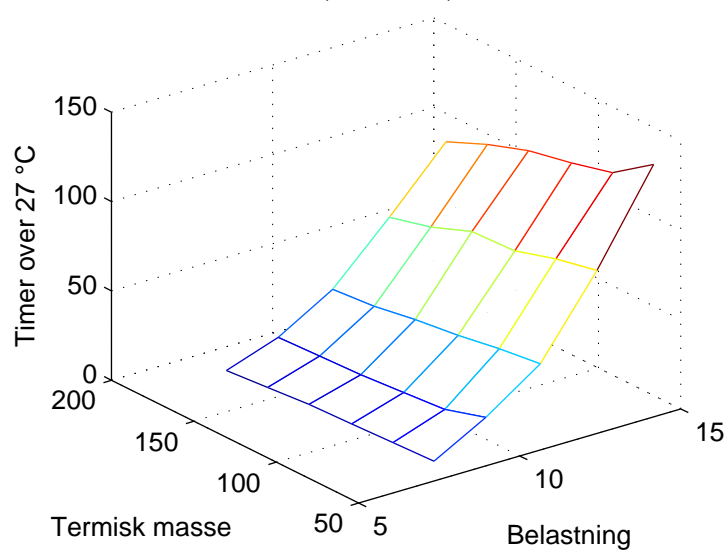
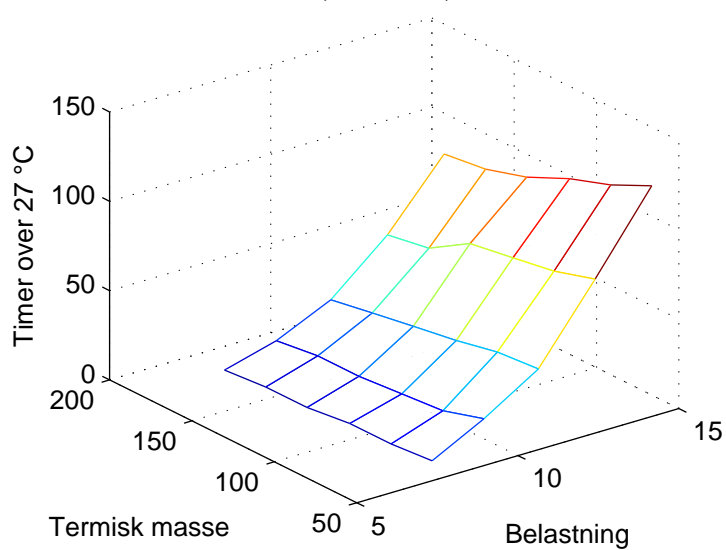
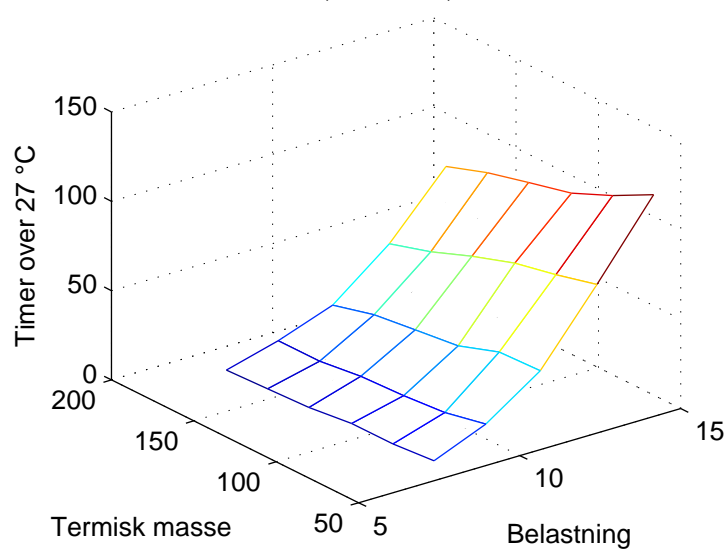
SW3, 26 °C

SW3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CSW3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

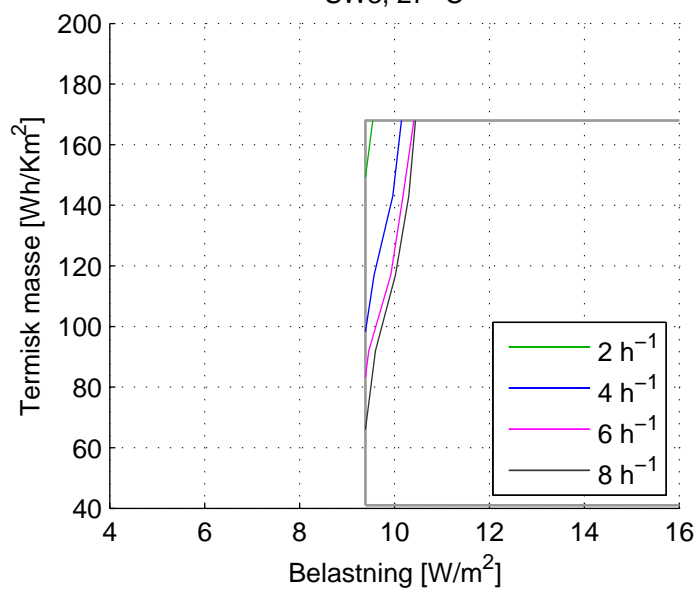
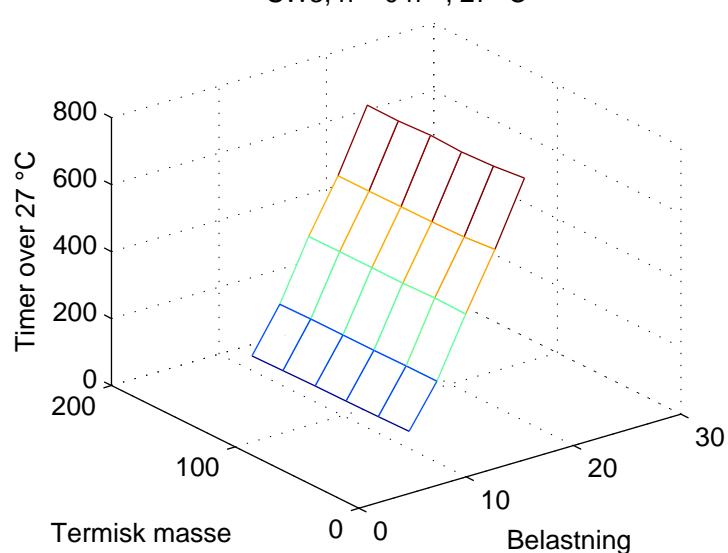
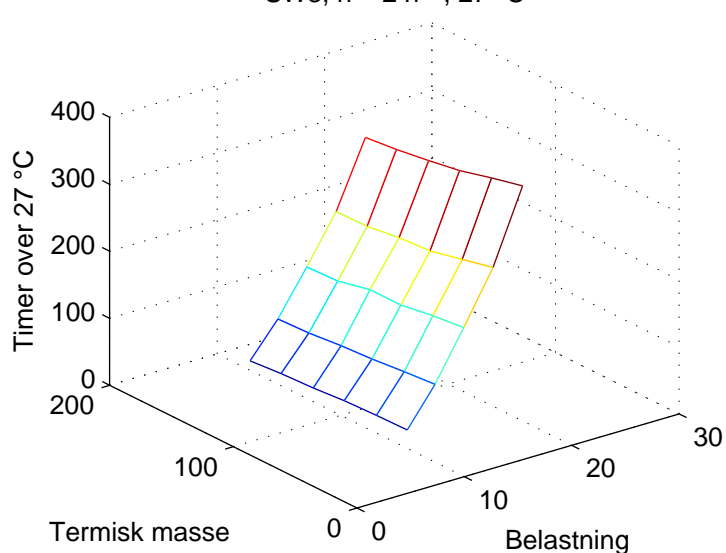
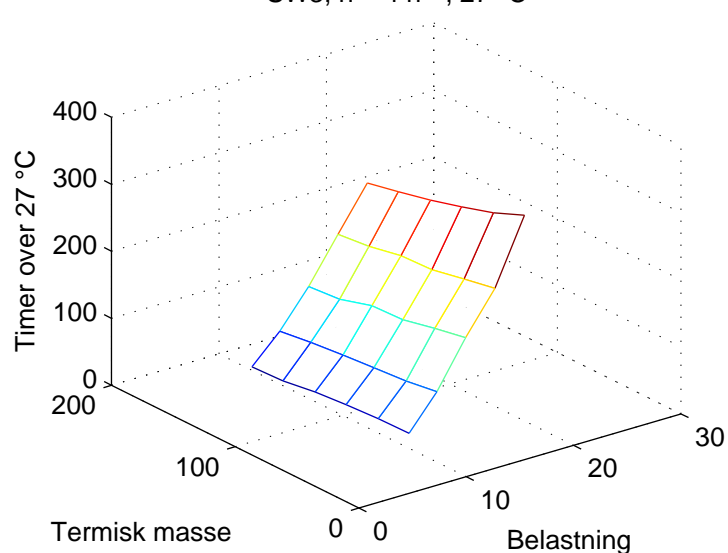
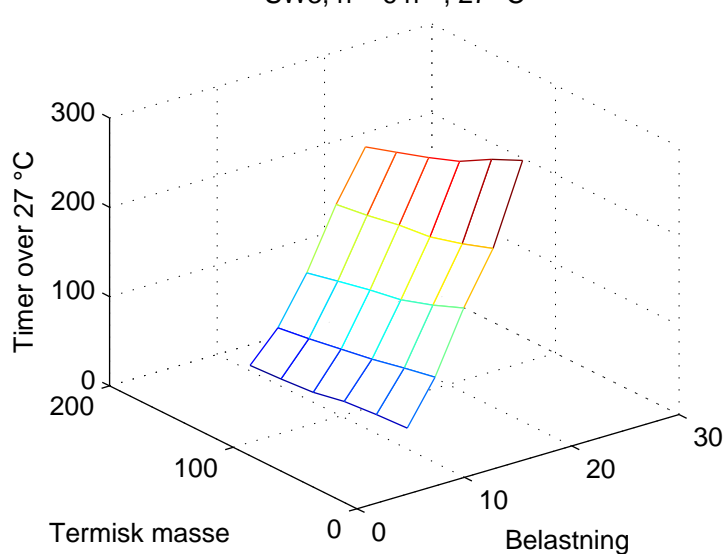
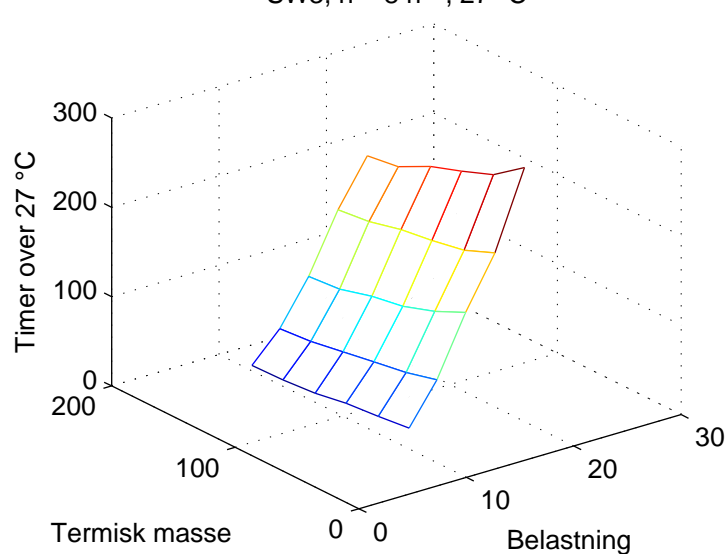
SW1, 27 °C

SW1, n = 0 h⁻¹, 27 °CSW1, n = 2 h⁻¹, 27 °CSW1, n = 4 h⁻¹, 27 °CSW1, n = 6 h⁻¹, 27 °CSW1, n = 8 h⁻¹, 27 °C

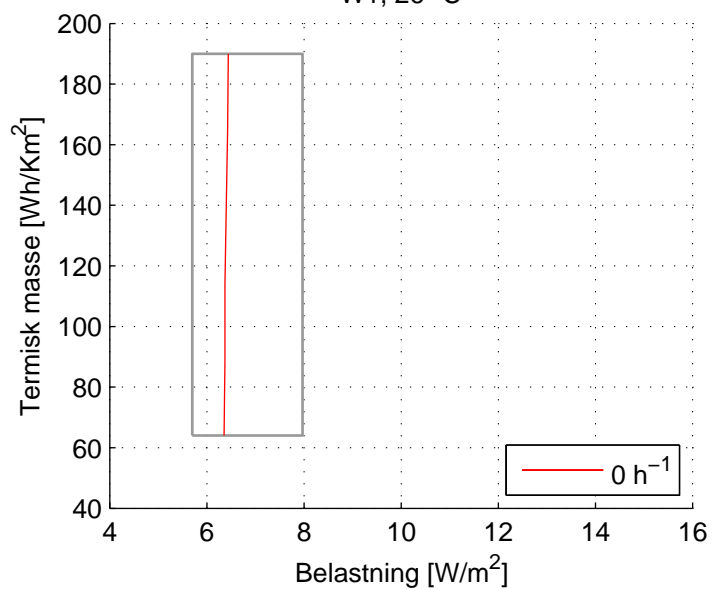
SW2, 27 °C

SW2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

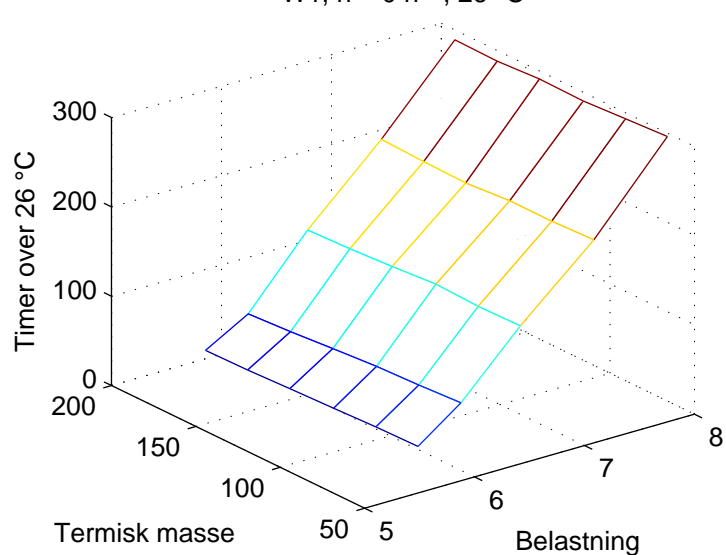
SW3, 27 °C

SW3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CSW3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

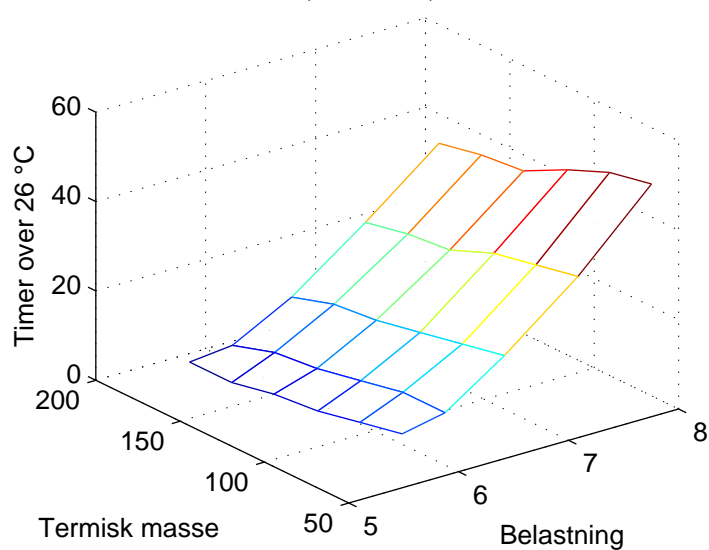
W1, 26 °C



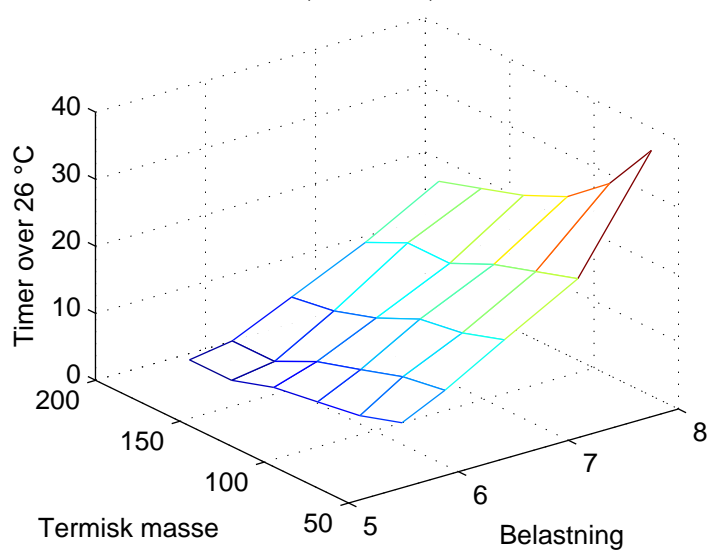
W1, n = 0 h⁻¹, 26 °C



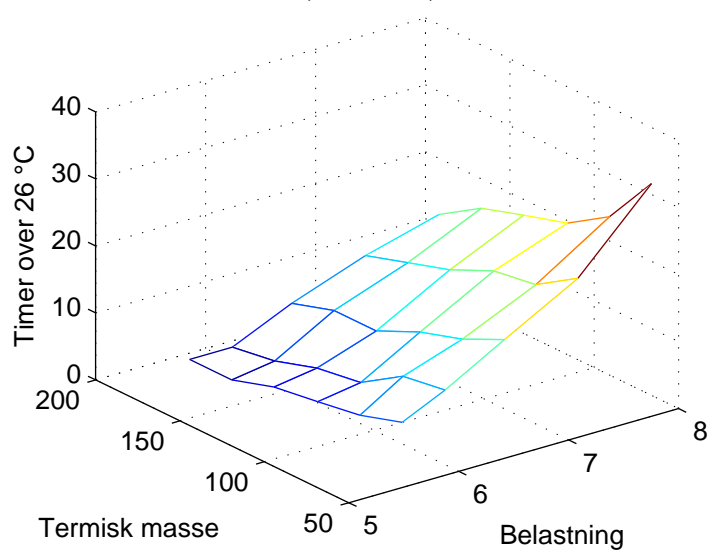
W1, n = 2 h⁻¹, 26 °C



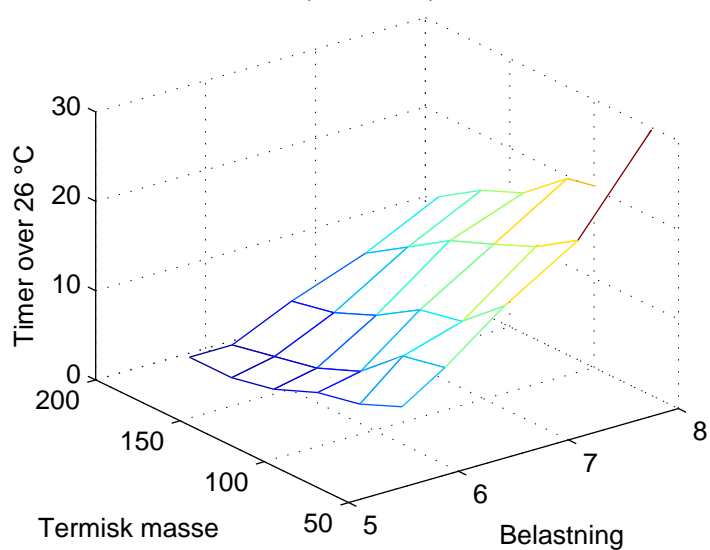
W1, n = 4 h⁻¹, 26 °C



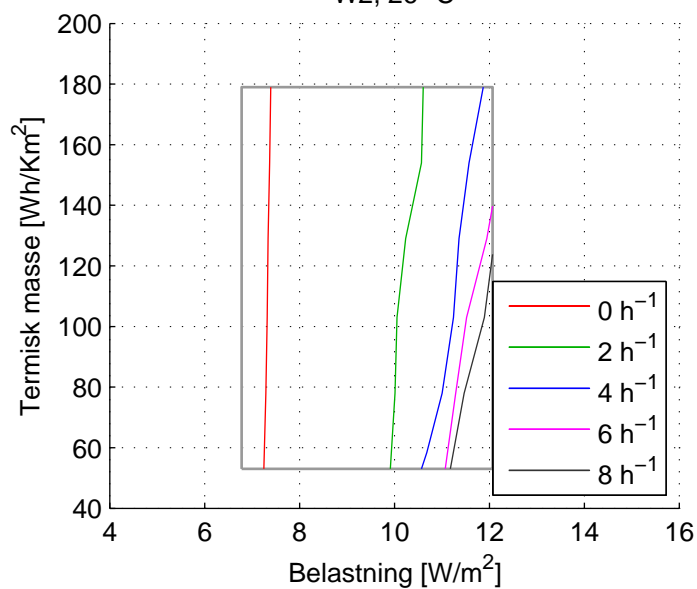
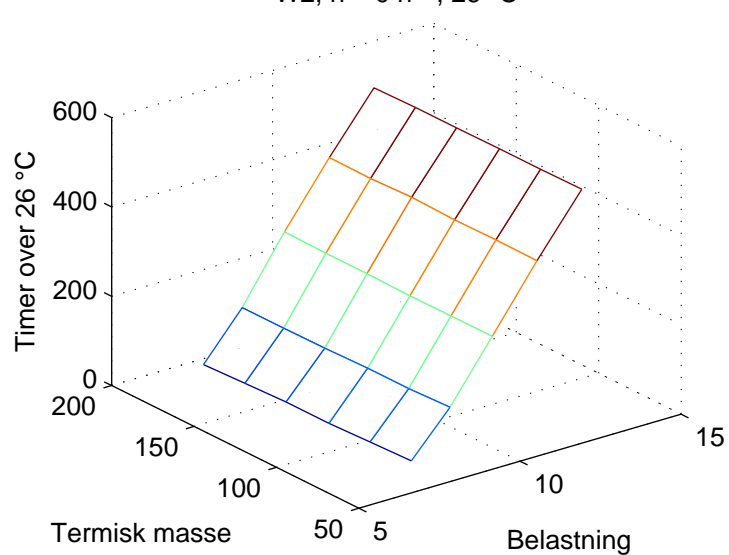
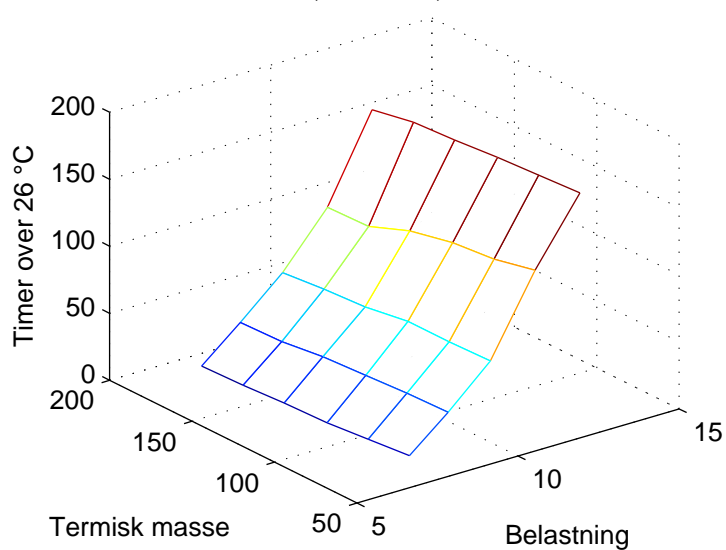
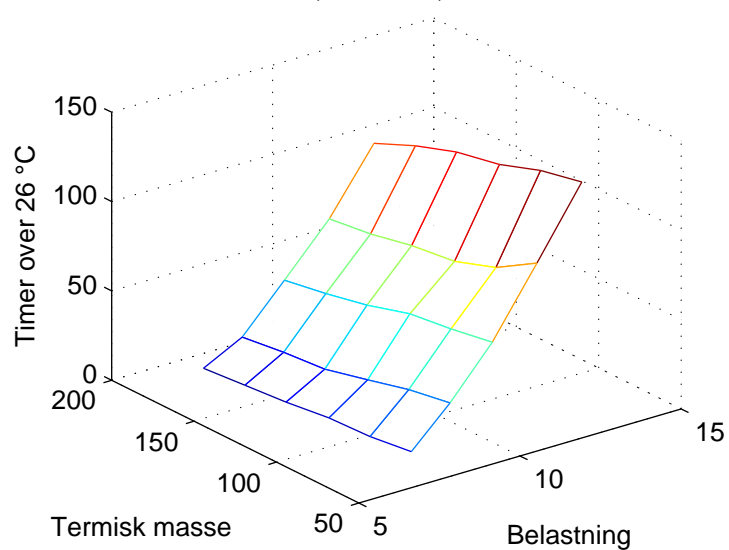
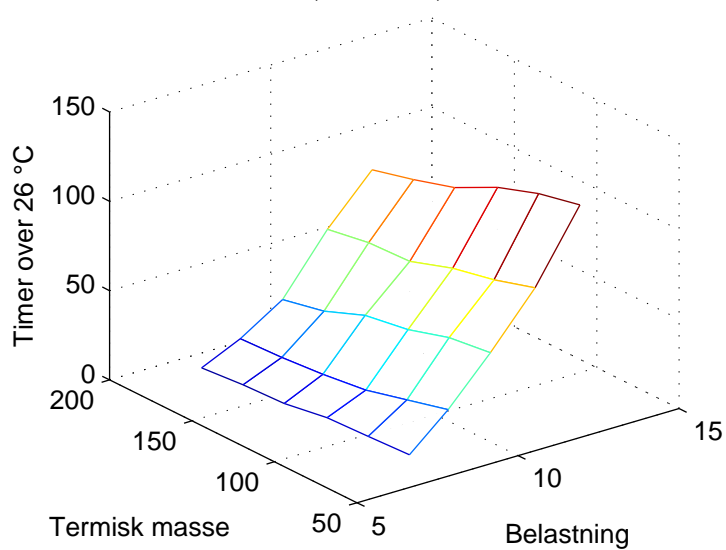
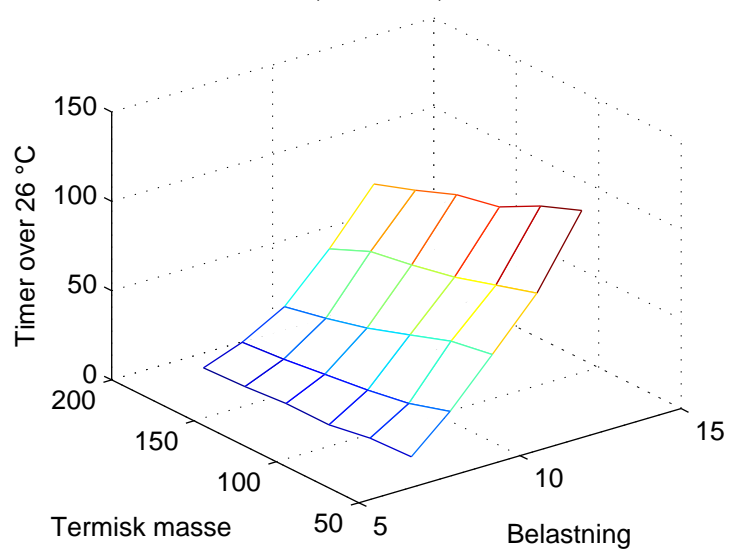
W1, n = 6 h⁻¹, 26 °C



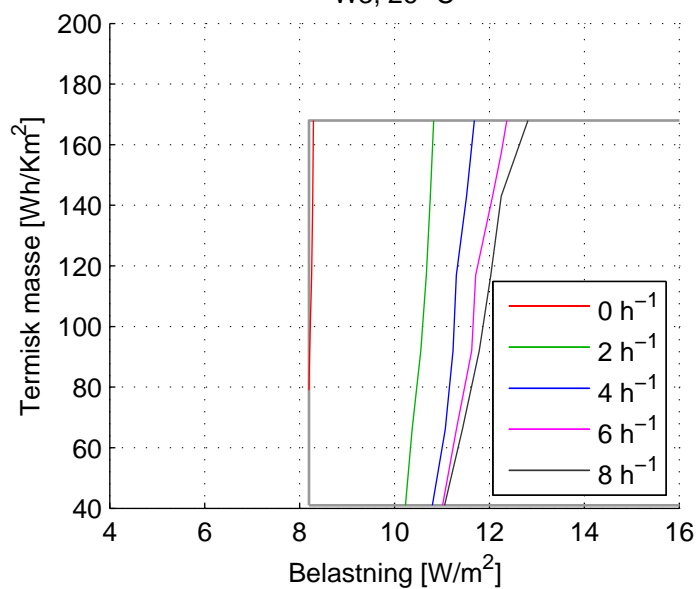
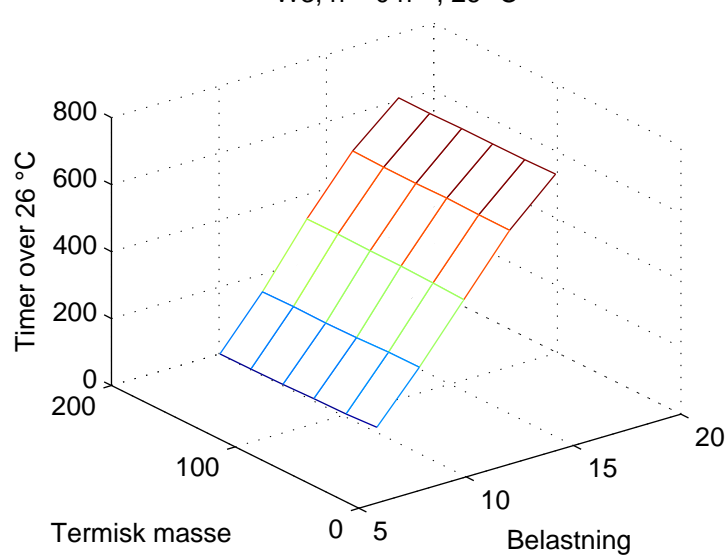
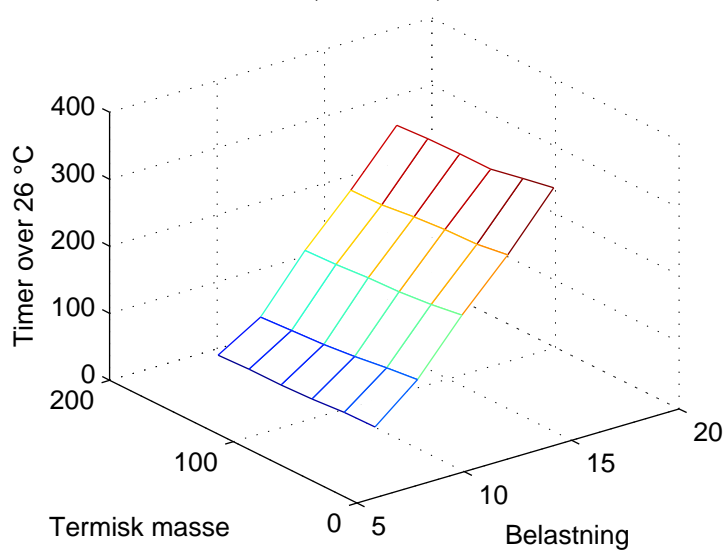
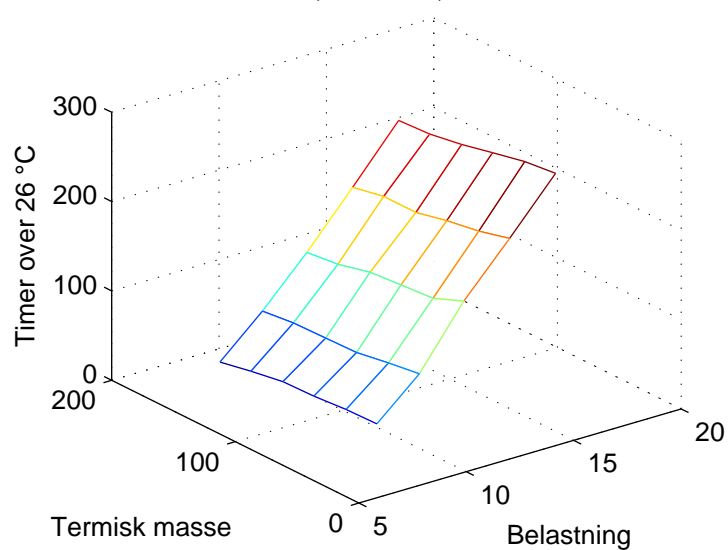
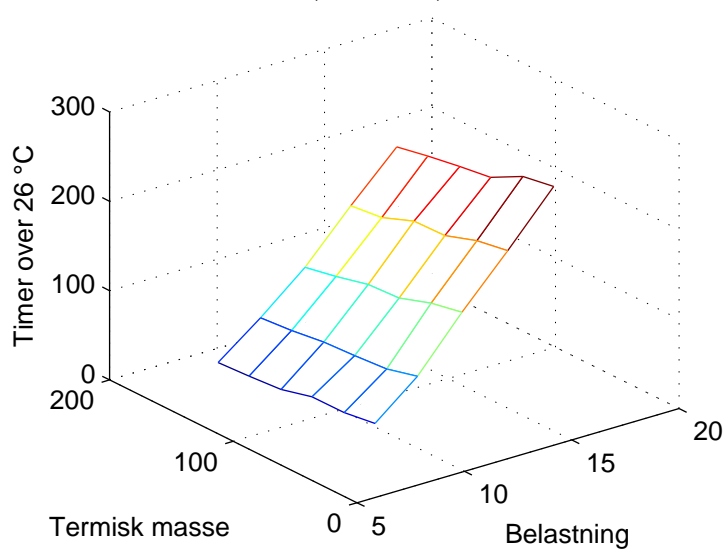
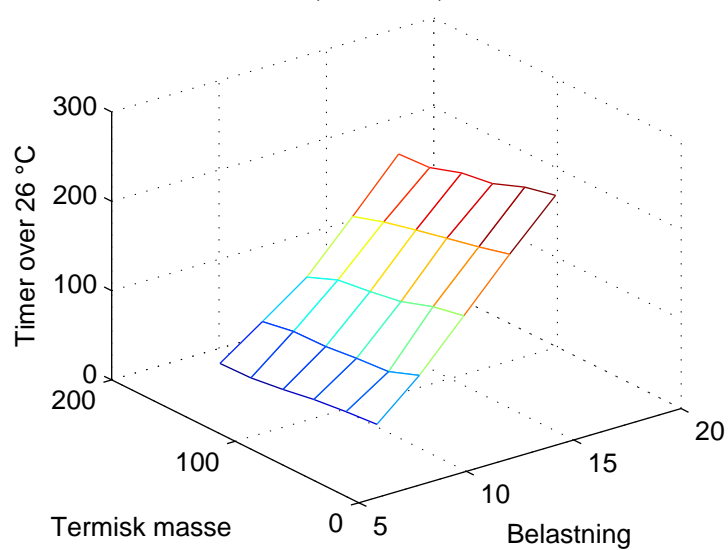
W1, n = 8 h⁻¹, 26 °C



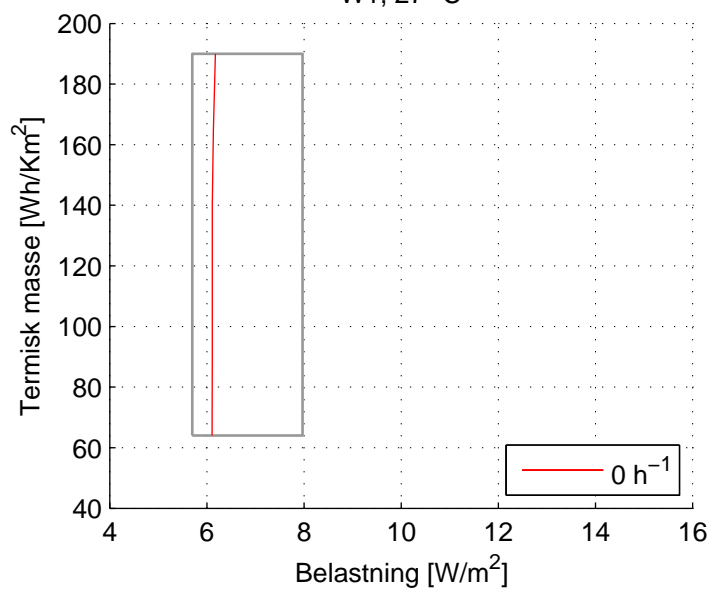
W2, 26 °C

W2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

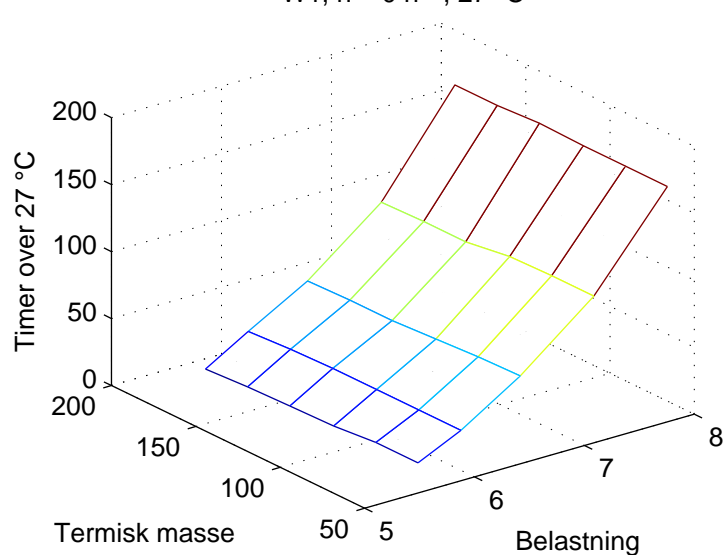
W3, 26 °C

W3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °CW3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C

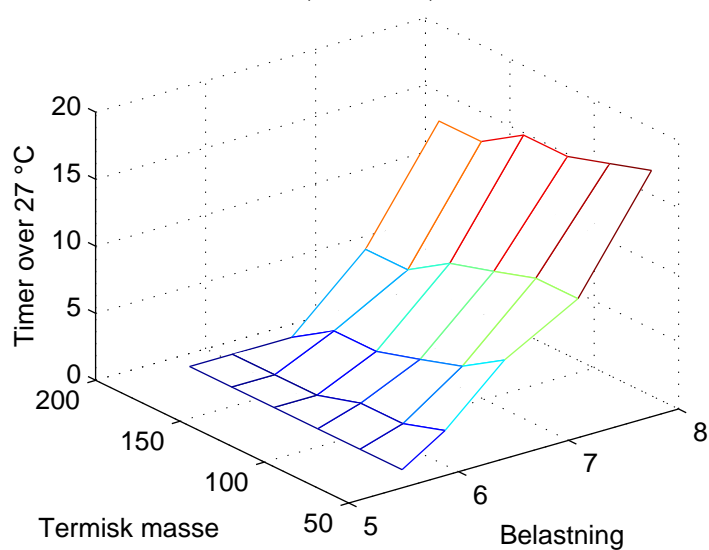
W1, 27 °C



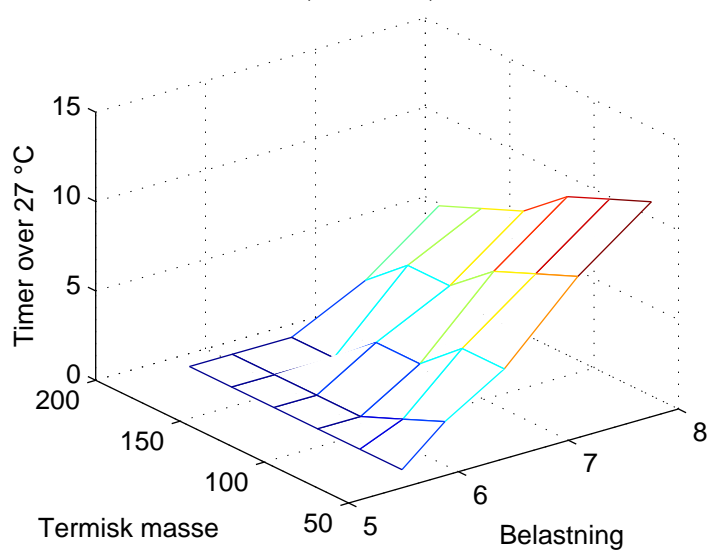
W1, n = 0 h⁻¹, 27 °C



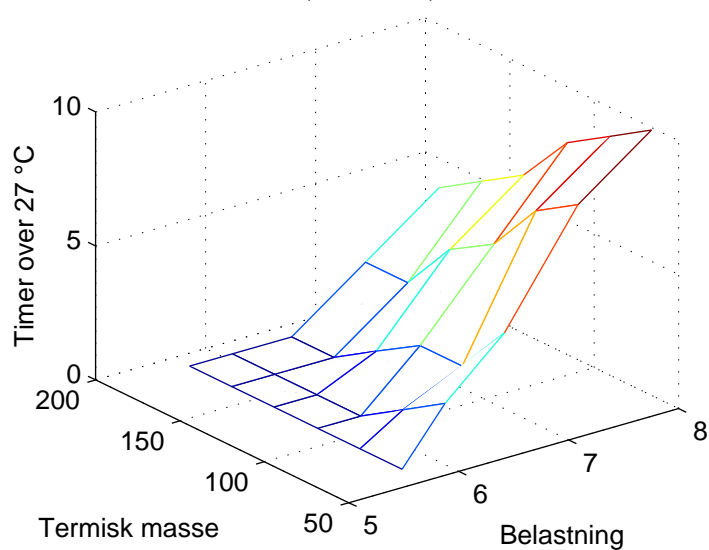
W1, n = 2 h⁻¹, 27 °C



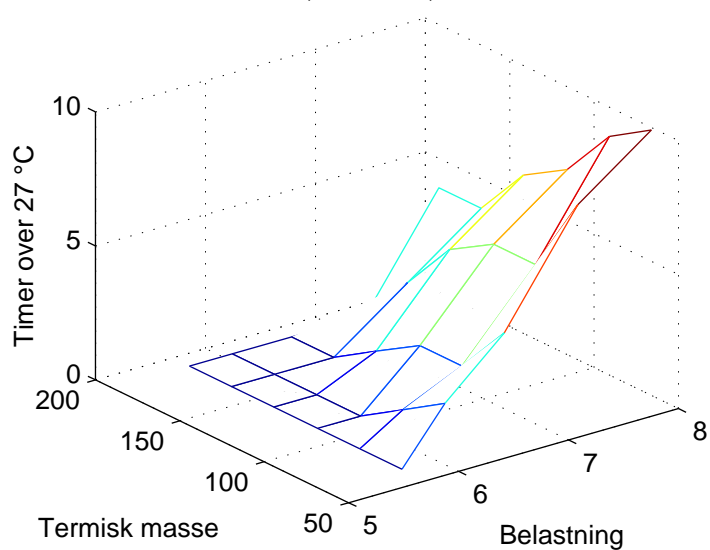
W1, n = 4 h⁻¹, 27 °C



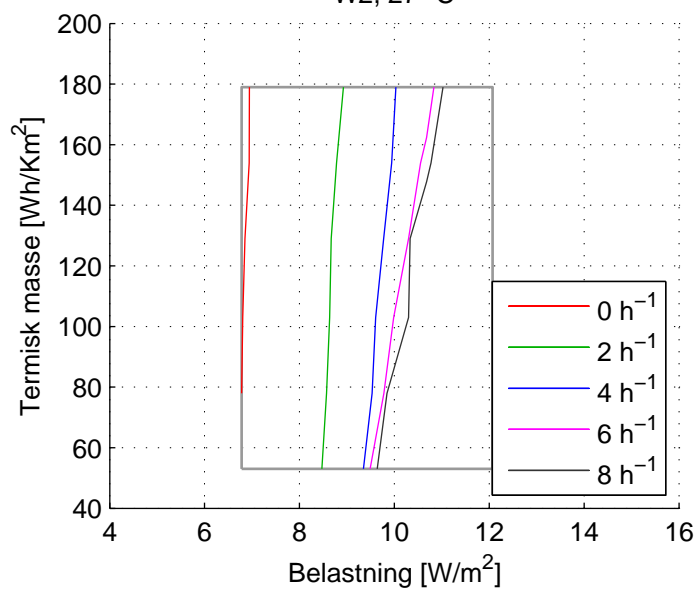
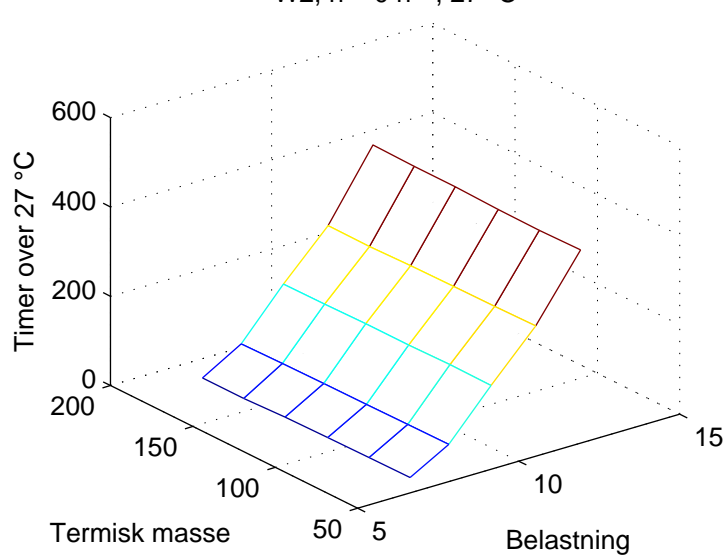
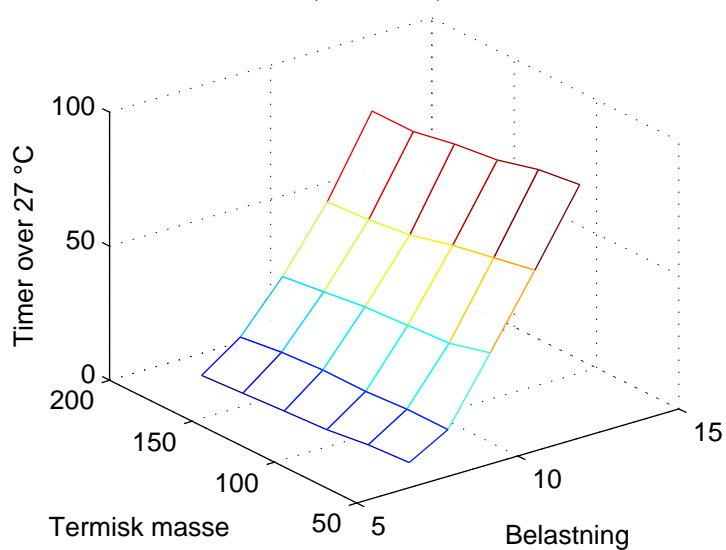
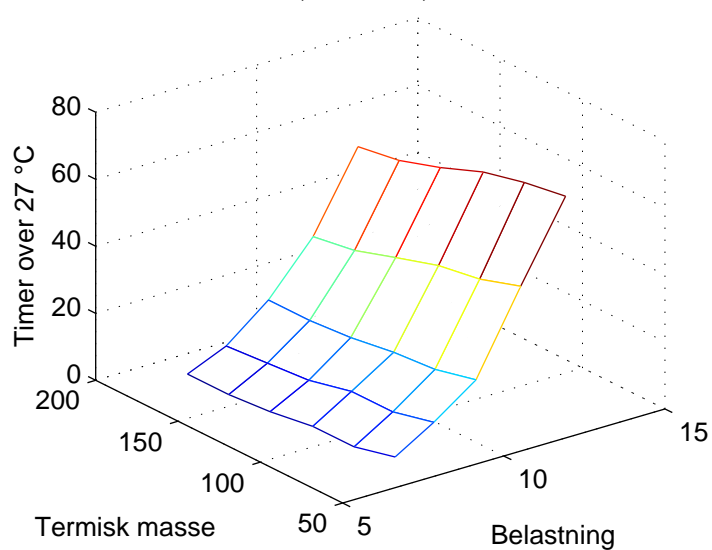
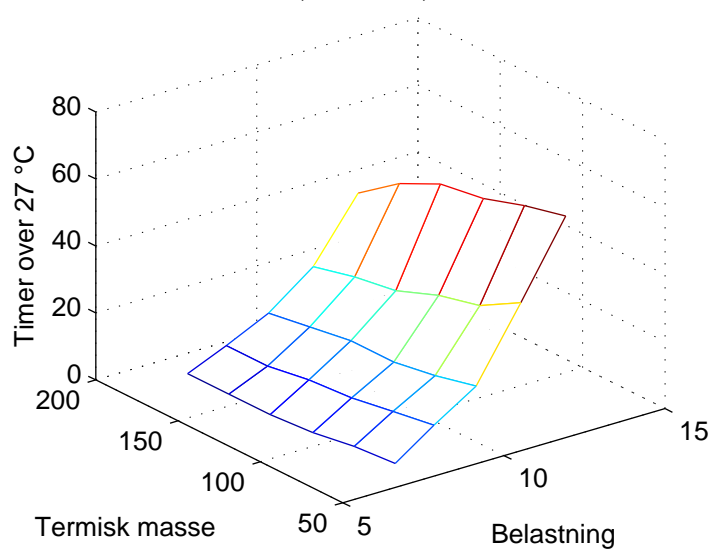
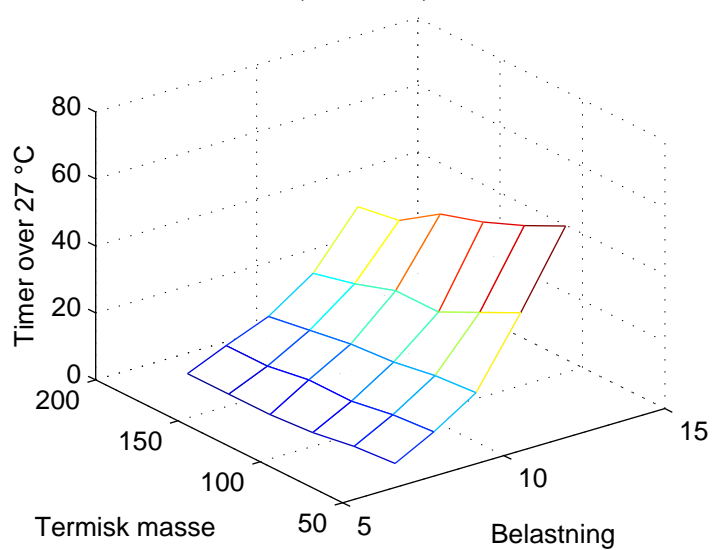
W1, n = 6 h⁻¹, 27 °C



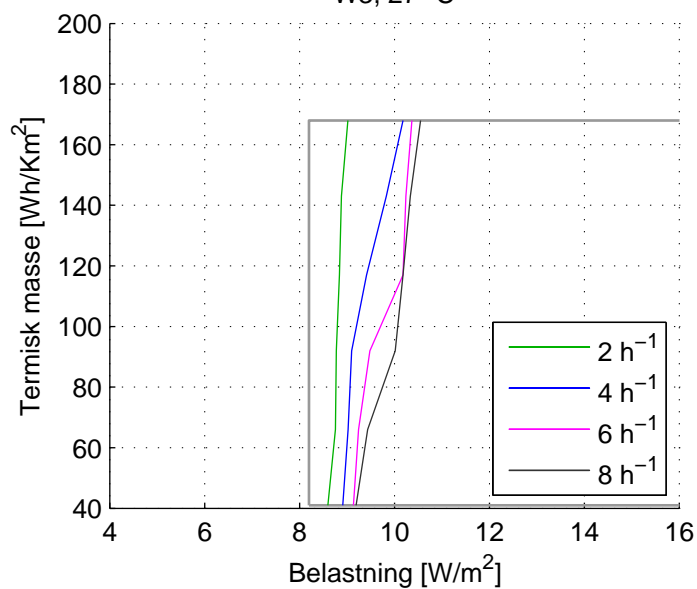
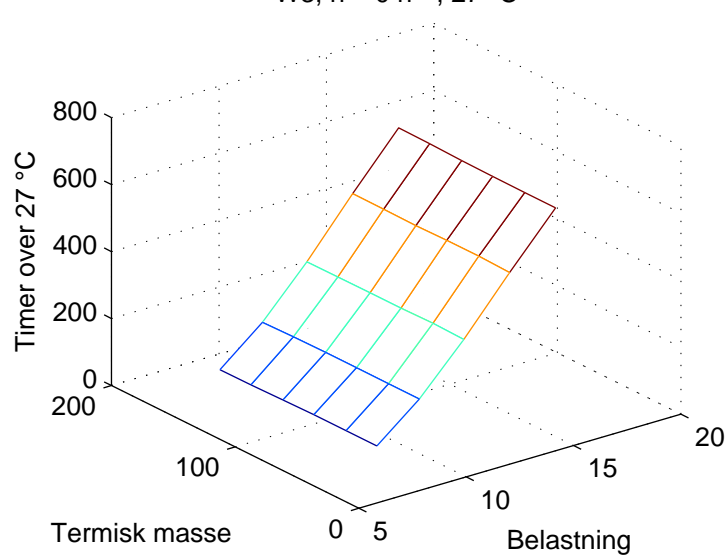
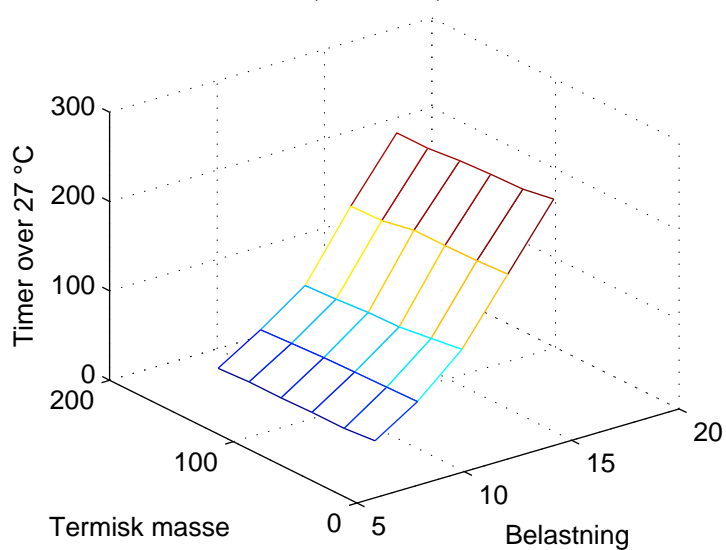
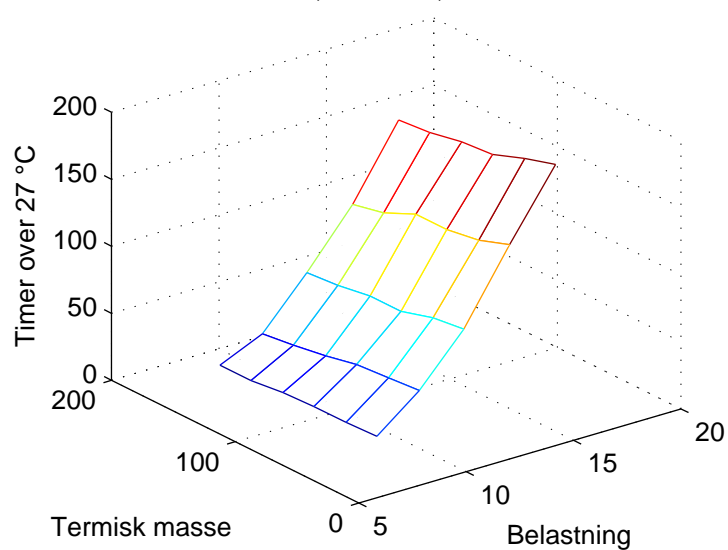
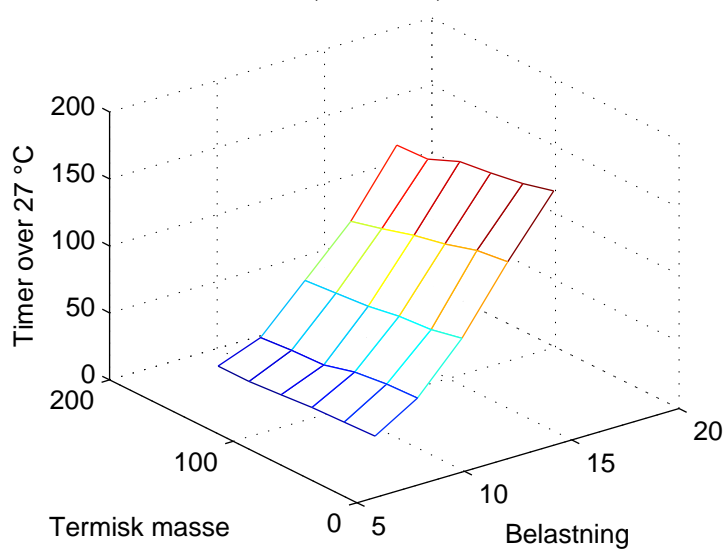
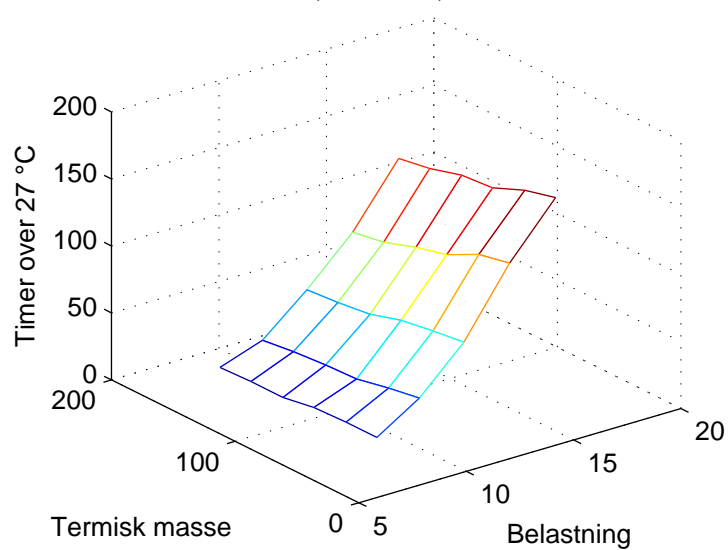
W1, n = 8 h⁻¹, 27 °C



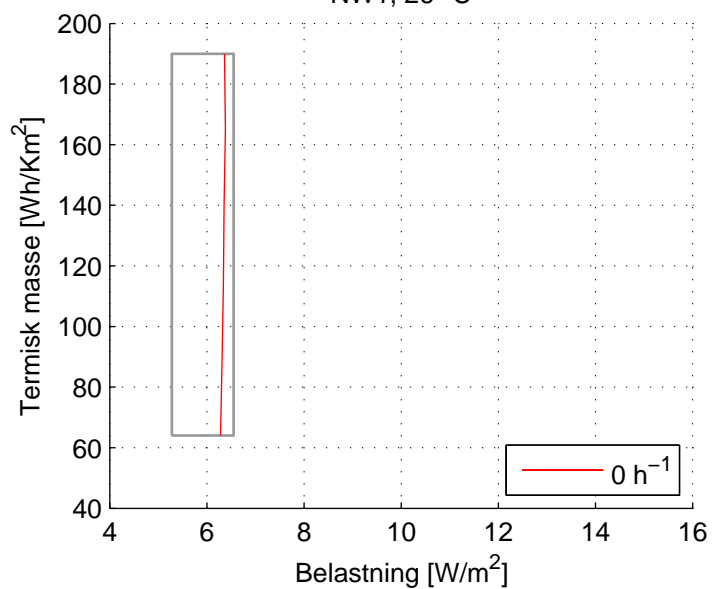
W2, 27 °C

W2, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW2, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW2, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW2, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW2, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

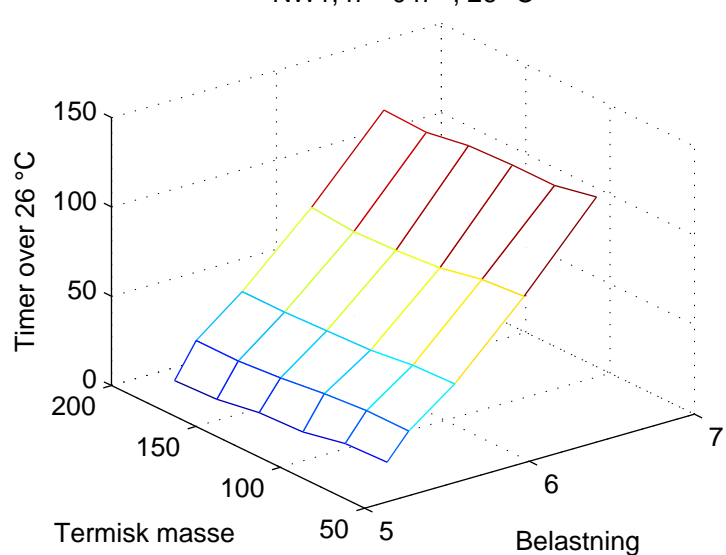
W3, 27 °C

W3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °CW3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C

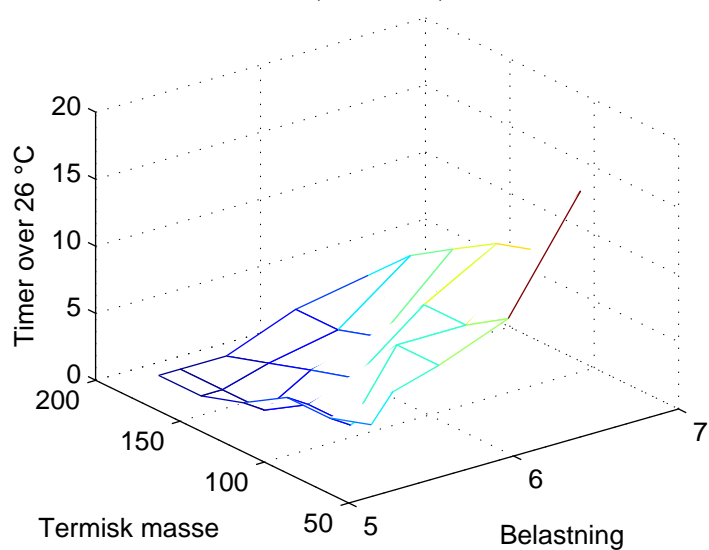
NW1, 26 °C



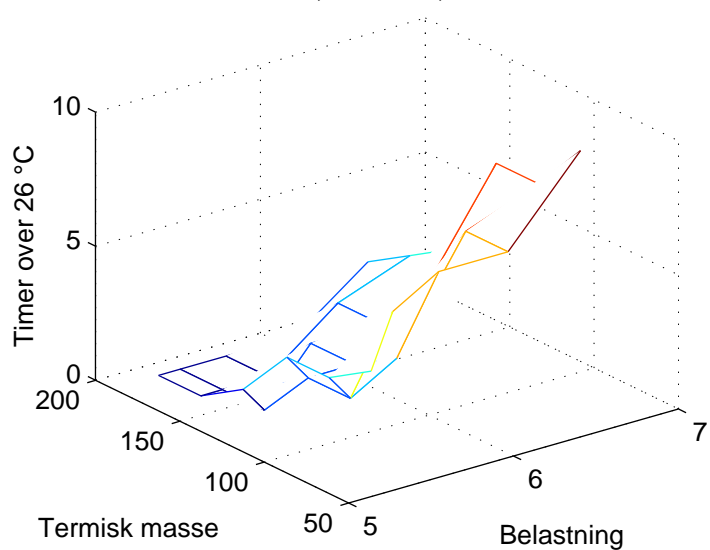
NW1, n = 0 h⁻¹, 26 °C



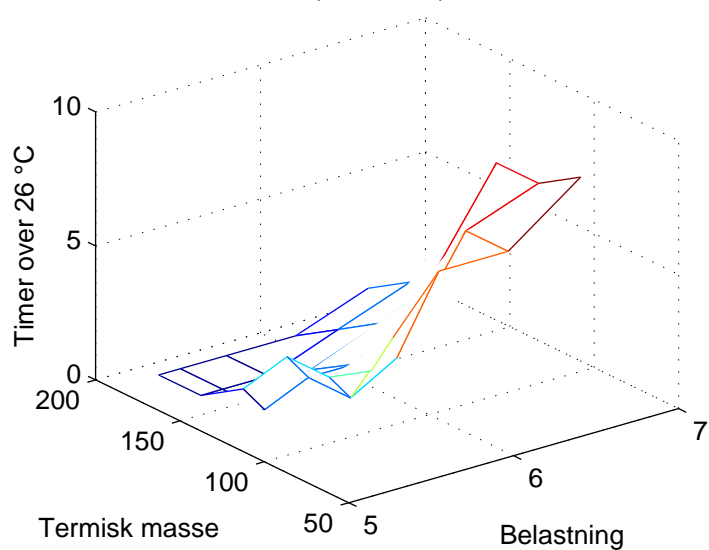
NW1, n = 2 h⁻¹, 26 °C



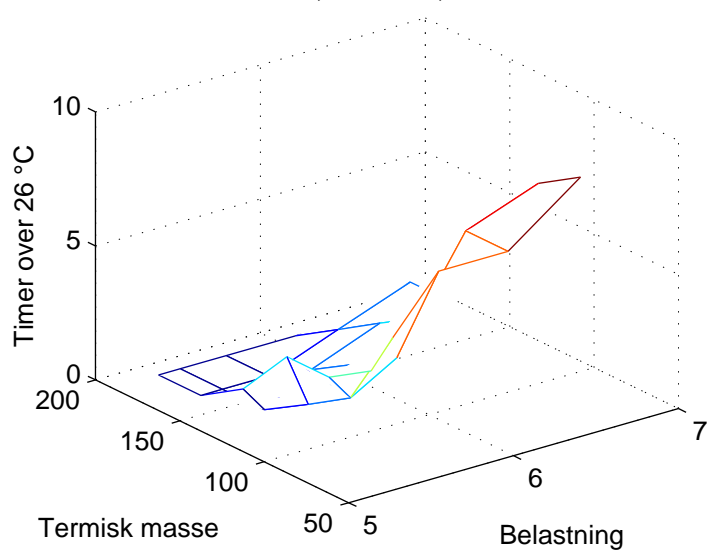
NW1, n = 4 h⁻¹, 26 °C



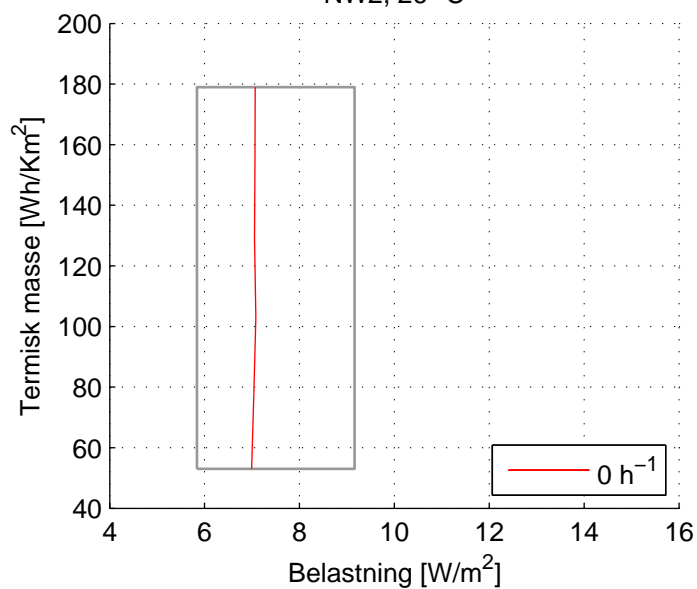
NW1, n = 6 h⁻¹, 26 °C



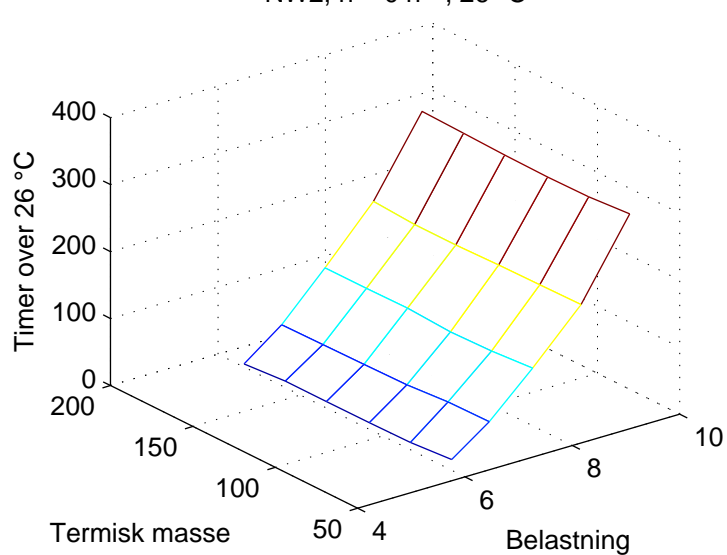
NW1, n = 8 h⁻¹, 26 °C



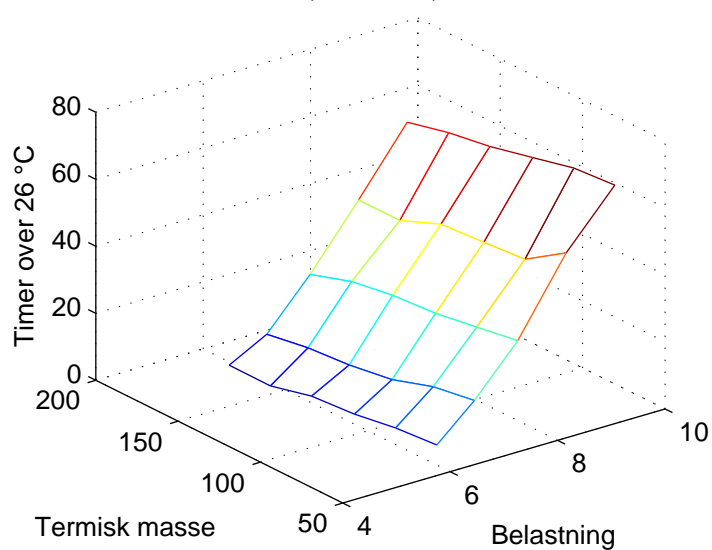
NW2, 26 °C



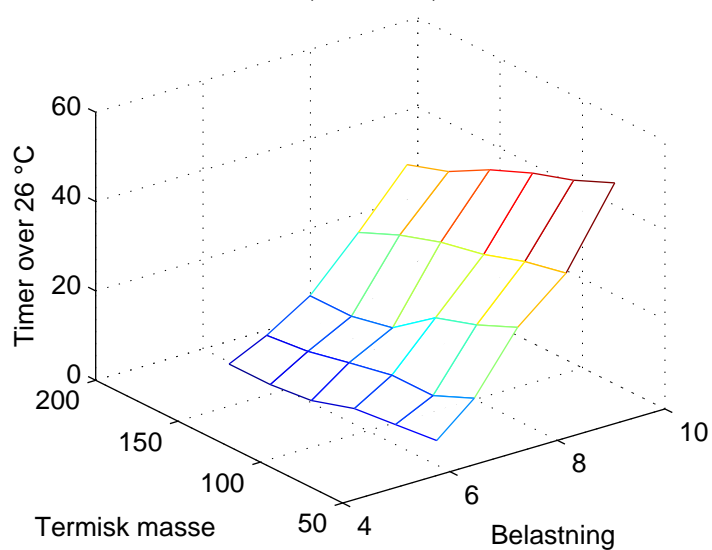
NW2, n = 0 h⁻¹, 26 °C



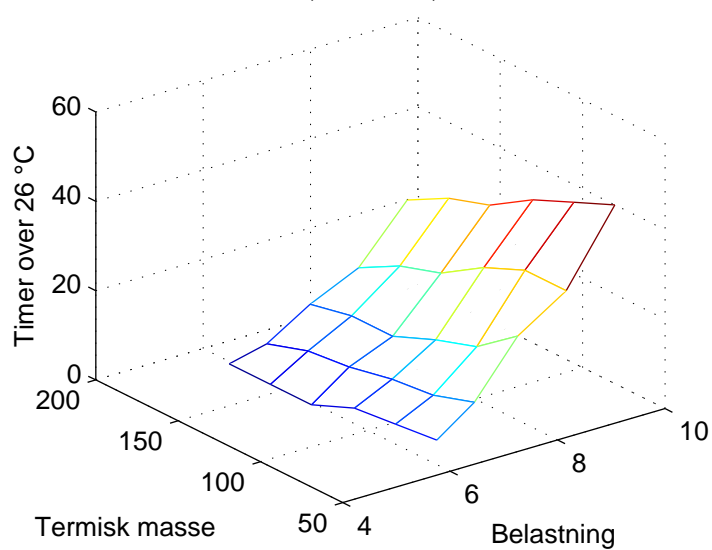
NW2, n = 2 h⁻¹, 26 °C



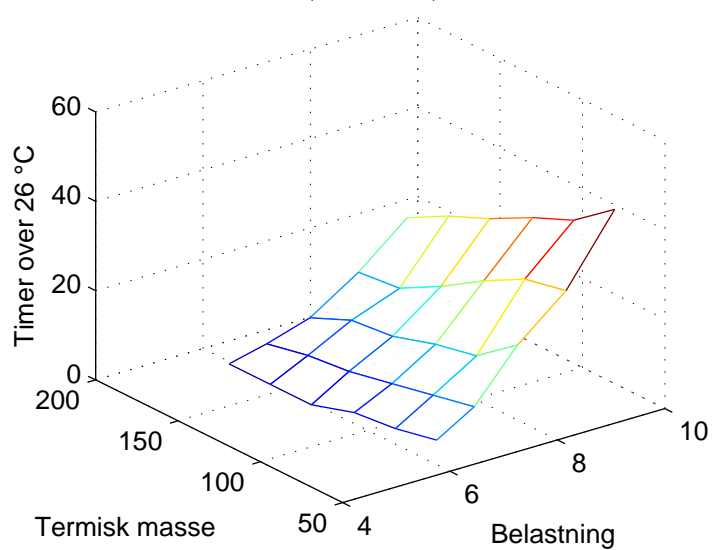
NW2, n = 4 h⁻¹, 26 °C



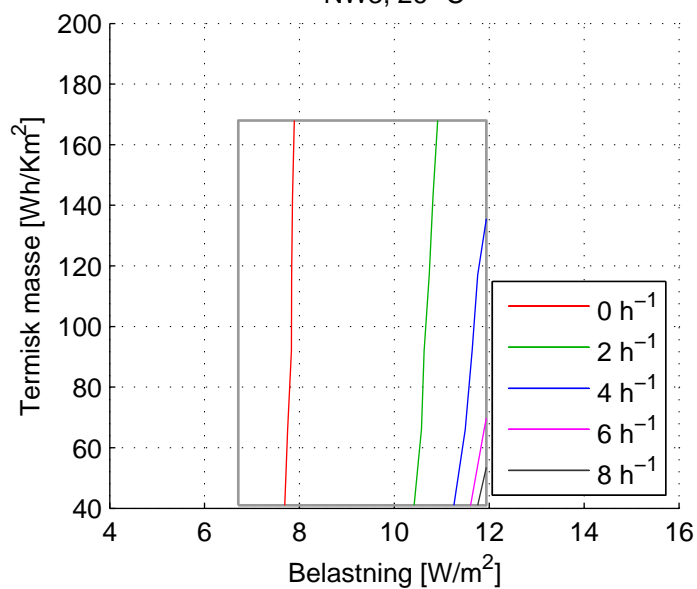
NW2, n = 6 h⁻¹, 26 °C



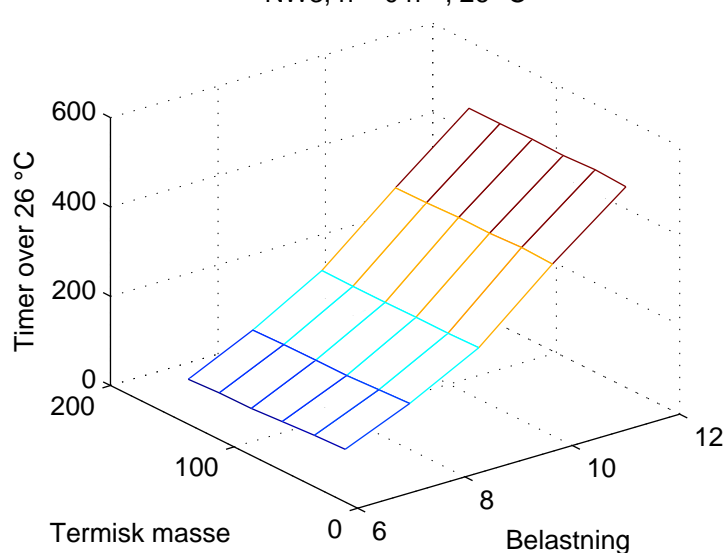
NW2, n = 8 h⁻¹, 26 °C



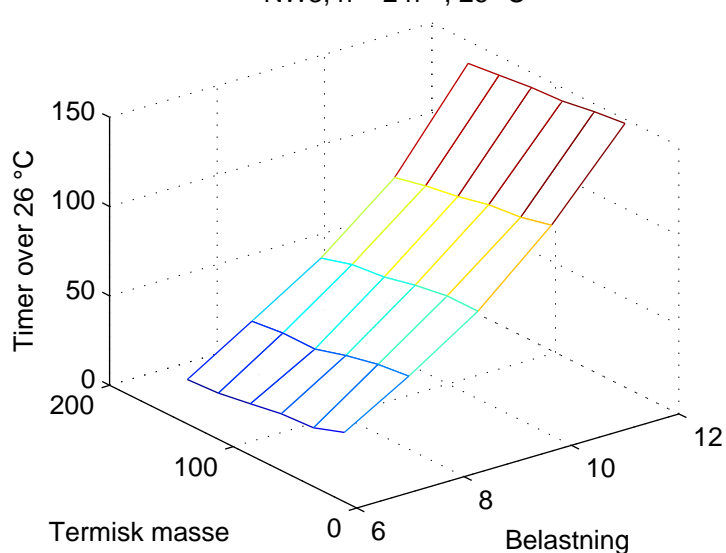
NW3, 26 °C



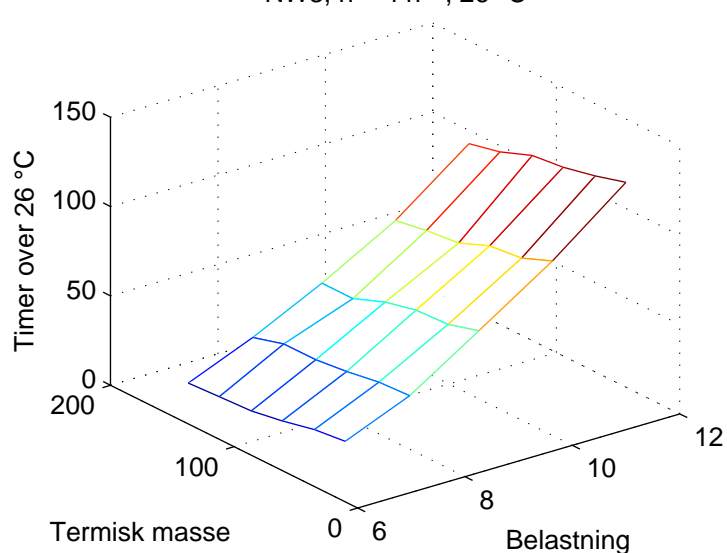
NW3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



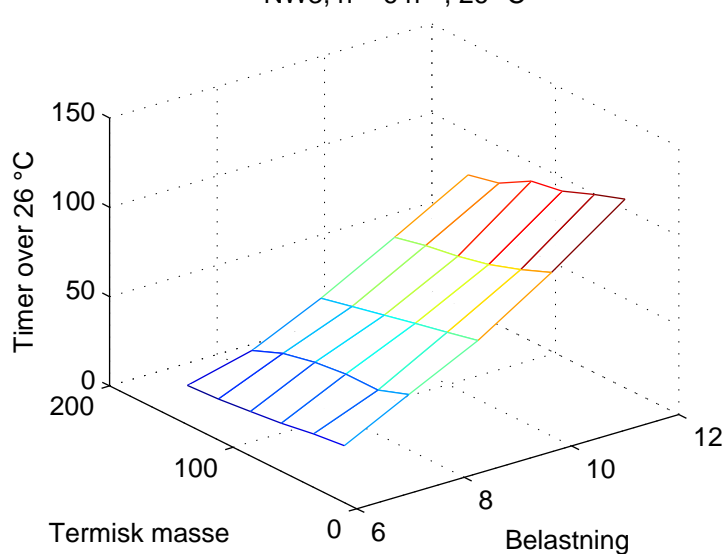
NW3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



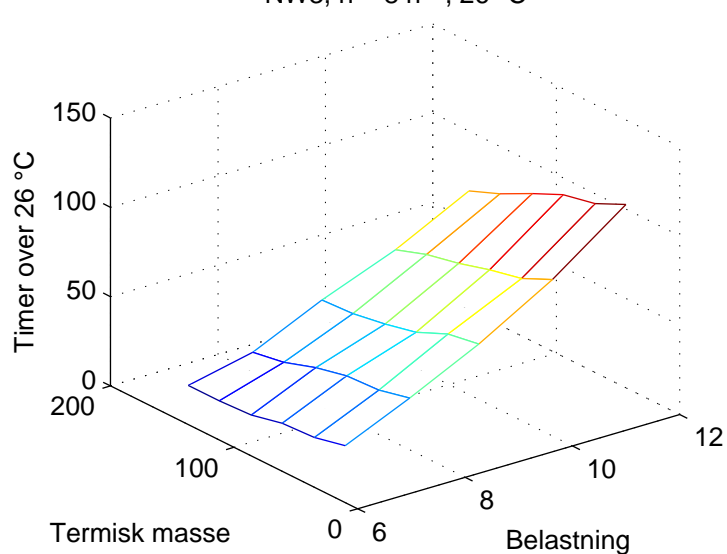
NW3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



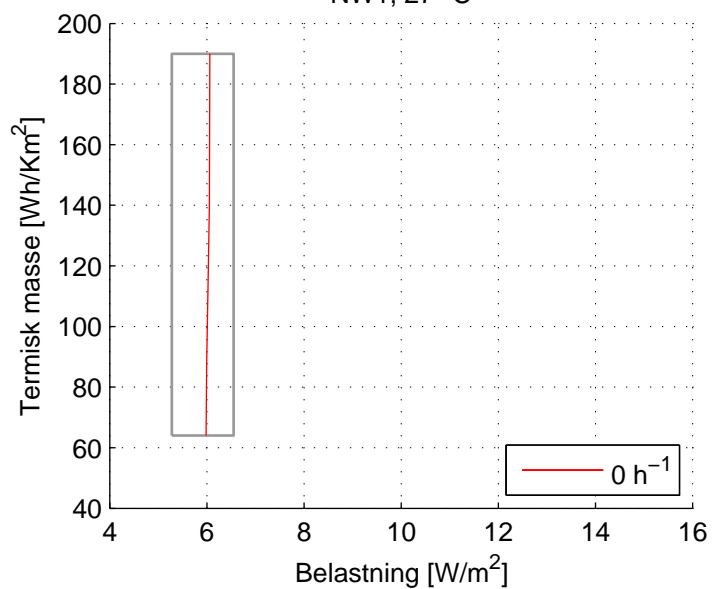
NW3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



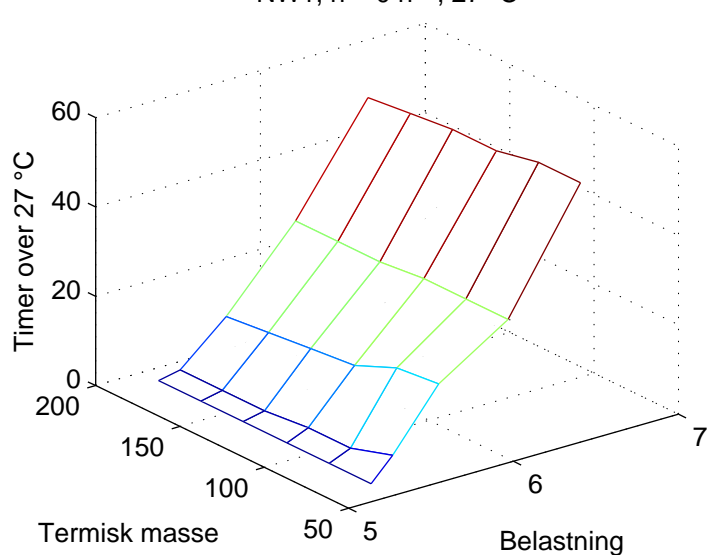
NW3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 26 °C



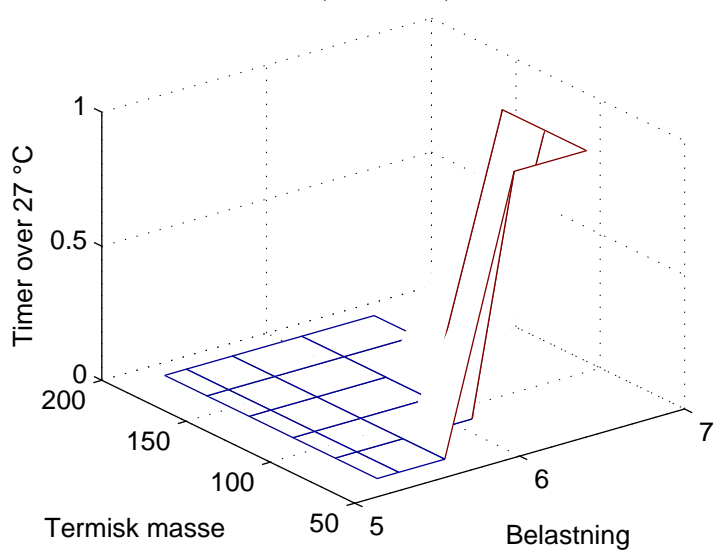
NW1, 27 °C



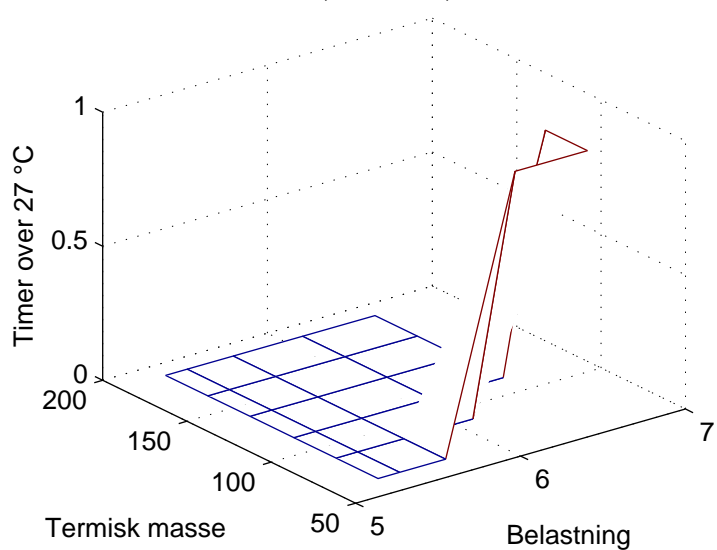
NW1, n = 0 h⁻¹, 27 °C



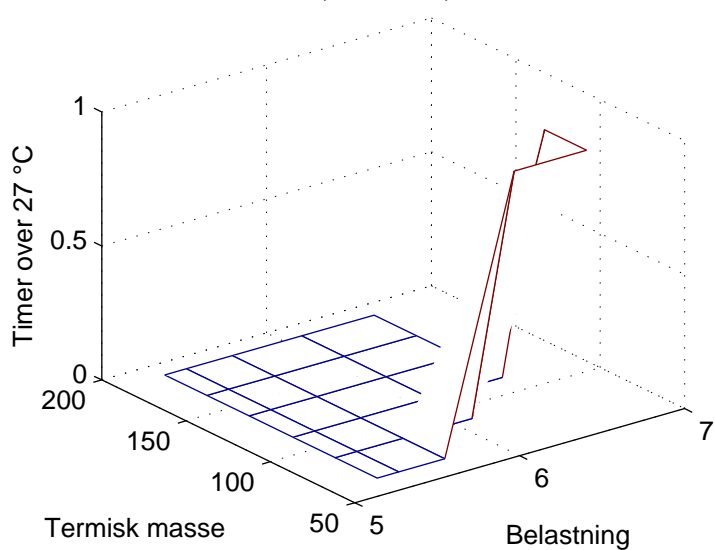
NW1, n = 2 h⁻¹, 27 °C



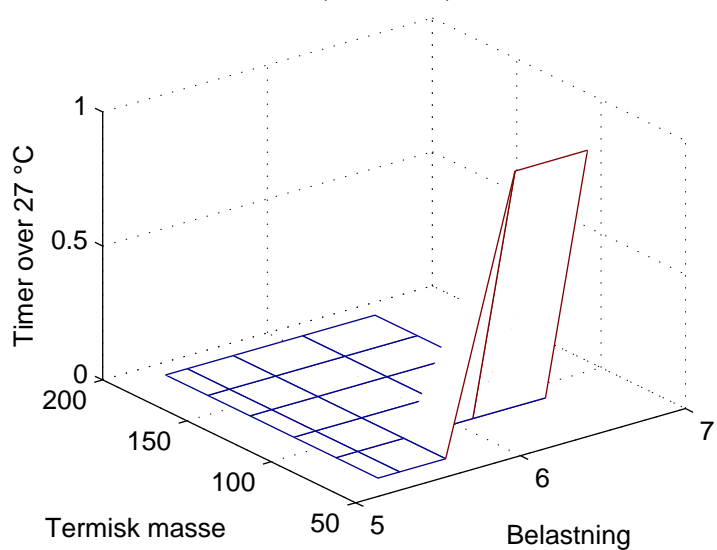
NW1, n = 4 h⁻¹, 27 °C



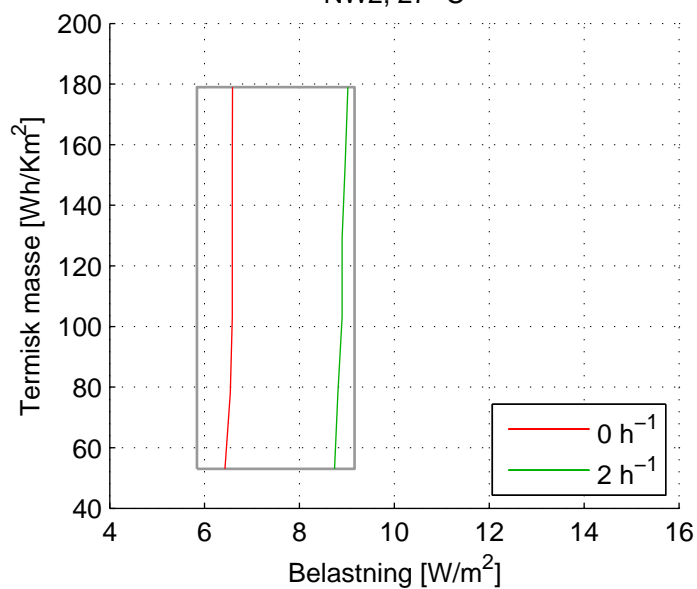
NW1, n = 6 h⁻¹, 27 °C



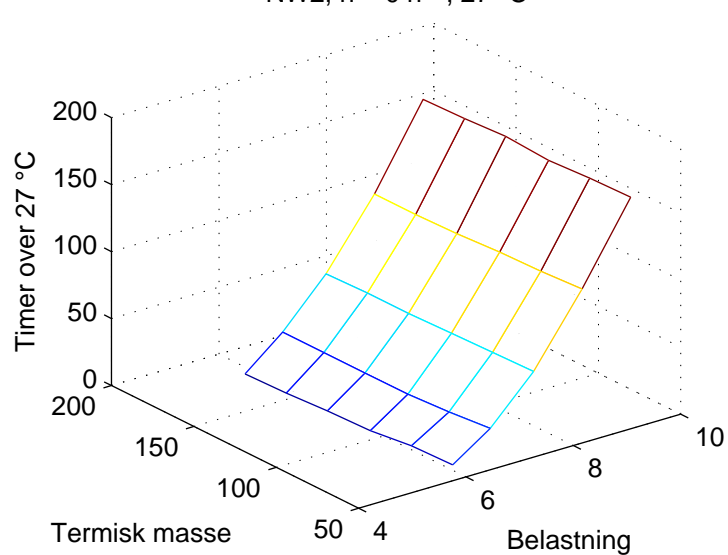
NW1, n = 8 h⁻¹, 27 °C



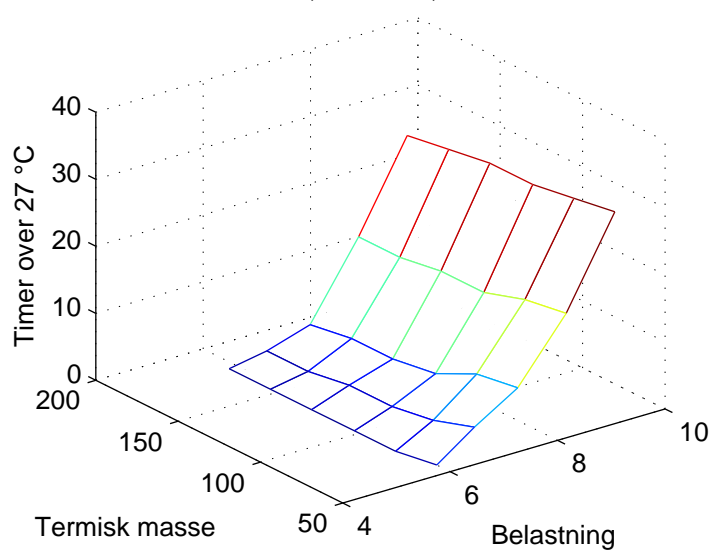
NW2, 27 °C



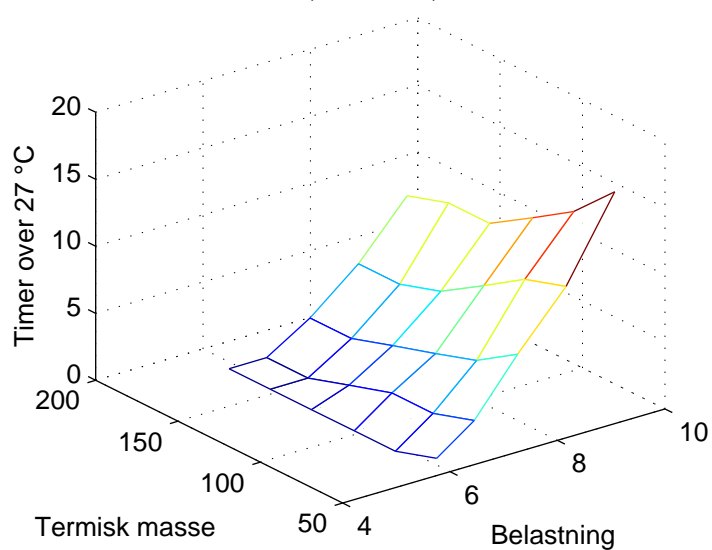
NW2, n = 0 h⁻¹, 27 °C



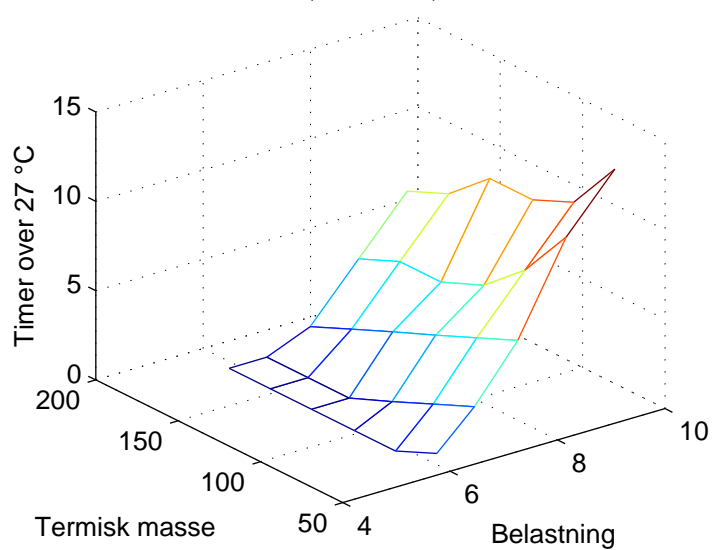
NW2, n = 2 h⁻¹, 27 °C



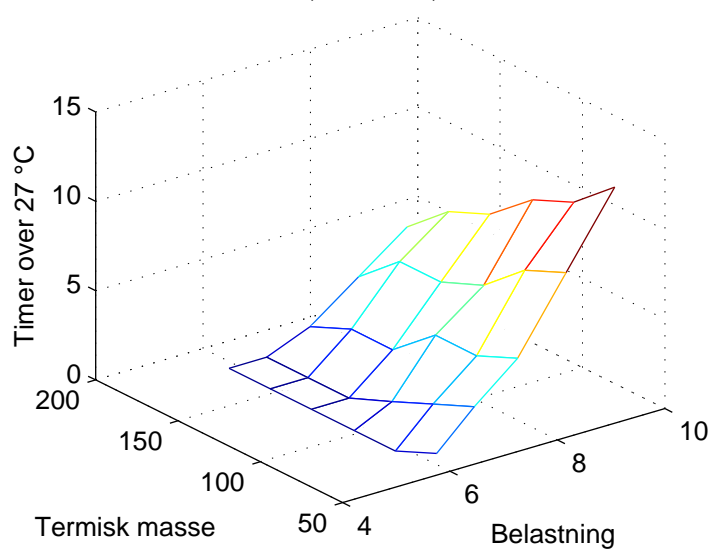
NW2, n = 4 h⁻¹, 27 °C



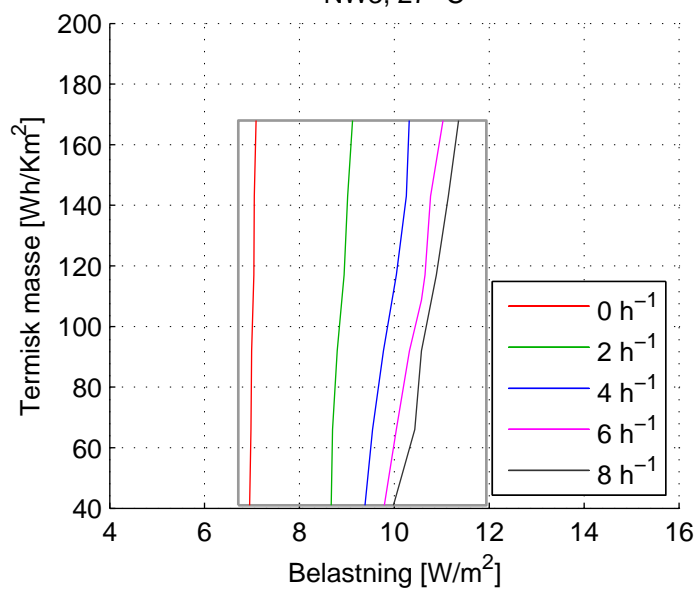
NW2, n = 6 h⁻¹, 27 °C



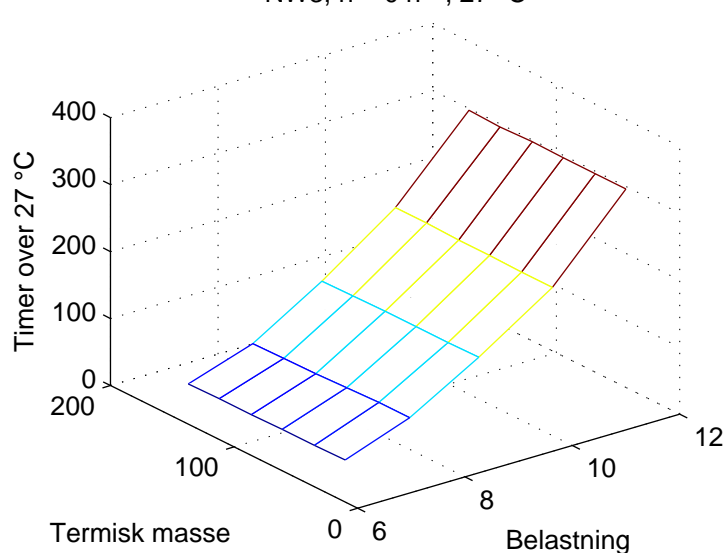
NW2, n = 8 h⁻¹, 27 °C



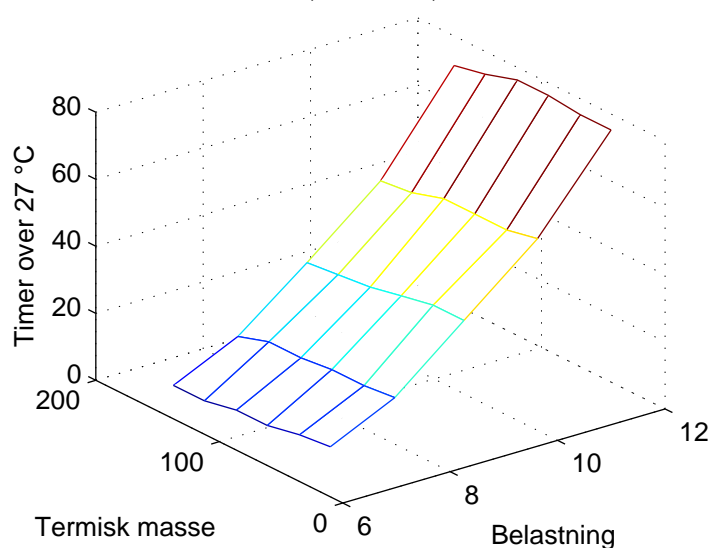
NW3, 27 °C



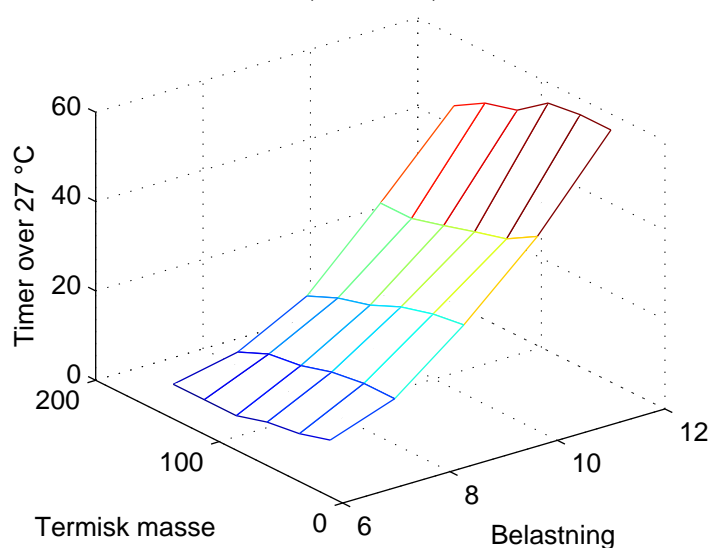
NW3, $n = 0 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



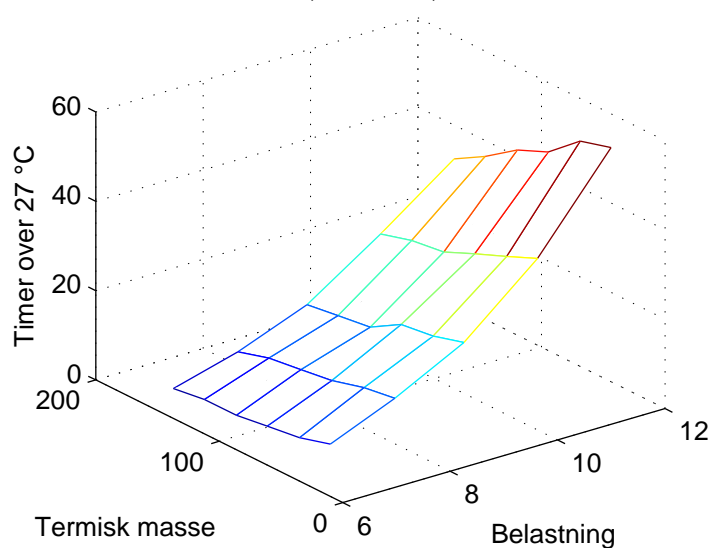
NW3, $n = 2 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



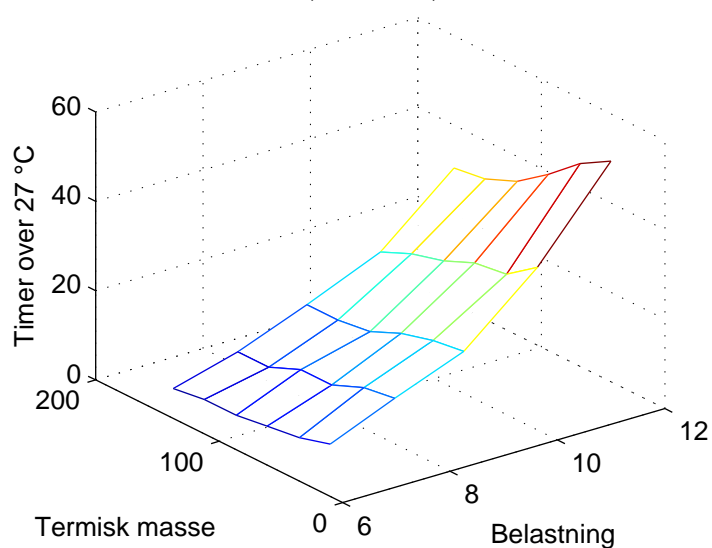
NW3, $n = 4 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



NW3, $n = 6 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



NW3, $n = 8 \text{ h}^{-1}$, 27 °C



Gulvareal	11,52
X _m	64
X _m uden inventar	61
Med PCM:	
Bredde:	2,4 m
Højde:	2,7 m
Tykkelse:	15 mm
Massefylde:	881 kg/m³
Entalpi:	24555 J/kg
Temp. Spænd:	2 K
Antal vægge:	0 1 2 3 4 5
X _m med PCM	64 89 114 140 165 190

Bilag C: Termisk masse - 1. etage

Beregnet efter EN ISO 13786 Annex A (European Standard, 2005)

[illegible]

Gulvareal	11,52
x_m	53
x_m uden inventar	50

Med PCM:

Bredde:	2,4 m						
Højde:	2,7 m						
Tykkelse:	15 mm						
Massefylde:	881 kg/m ³						
Entalpi:	24555 J/kg						
Temp. Spænd:	2 K						
Antal vægge:	0	1	2	3	4	5	
X_m med PCM	53	78	103	129	154	179	

Bilag D: Termisk masse - 2. etage

Beregnet efter EN ISO 13786 Annex A (European Standard, 2005)

[illegible]

83

Gulvareal	11,52
X _m	41
X _m uden inventar	38
Med PCM:	
Bredde:	2,4 m
Højde:	2,7 m
Tykkelse:	15 mm
Massefylde:	881 kg/m³
Entalpi:	24555 J/kg
Temp. Spænd:	2 K
Antal vægge:	0 1 2 3 4 5
X _m med PCM	41 66 92 117 143 168

Bilag E: Parameterliste for BSim simuleringerne

Den ønskede parametervariation resulterer samlet set i 3600 årssimuleringer. Modellen er dog opbygget, så det er muligt at dække alle otte orienteringer, samt tre vinduesstørrelser ved hver simulering (se evt. modelbeskrivelsen). Dette resulterer i 150 simuleringer.

Øvrige parametre og intervaller:

Natlufts kifte	0	2	4	6	8	
g-værdi	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	
Termisk masse	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1

Case	Luftskifte	g-værdi	Termisk masse
1	0	0,6	0
2	0	0,6	0,2
3	0	0,6	0,4
4	0	0,6	0,6
5	0	0,6	0,8
6	0	0,6	1
7	0	0,5	0
8	0	0,5	0,2
9	0	0,5	0,4
10	0	0,5	0,6
11	0	0,5	0,8
12	0	0,5	1
13	0	0,4	0
14	0	0,4	0,2
15	0	0,4	0,4
16	0	0,4	0,6
17	0	0,4	0,8
18	0	0,4	1
19	0	0,3	0
20	0	0,3	0,2
21	0	0,3	0,4
22	0	0,3	0,6
23	0	0,3	0,8
24	0	0,3	1
25	0	0,2	0
26	0	0,2	0,2
27	0	0,2	0,4
28	0	0,2	0,6
29	0	0,2	0,8
30	0	0,2	1
31	2	0,6	0
32	2	0,6	0,2
33	2	0,6	0,4
34	2	0,6	0,6
35	2	0,6	0,8

36	2	0,6	1
37	2	0,5	0
38	2	0,5	0,2
39	2	0,5	0,4
40	2	0,5	0,6
41	2	0,5	0,8
42	2	0,5	1
43	2	0,4	0
44	2	0,4	0,2
45	2	0,4	0,4
46	2	0,4	0,6
47	2	0,4	0,8
48	2	0,4	1
49	2	0,3	0
50	2	0,3	0,2
51	2	0,3	0,4
52	2	0,3	0,6
53	2	0,3	0,8
54	2	0,3	1
55	2	0,2	0
56	2	0,2	0,2
57	2	0,2	0,4
58	2	0,2	0,6
59	2	0,2	0,8
60	2	0,2	1
61	4	0,6	0
62	4	0,6	0,2
63	4	0,6	0,4
64	4	0,6	0,6
65	4	0,6	0,8
66	4	0,6	1
67	4	0,5	0
68	4	0,5	0,2
69	4	0,5	0,4
70	4	0,5	0,6
71	4	0,5	0,8
72	4	0,5	1
73	4	0,4	0
74	4	0,4	0,2
75	4	0,4	0,4
76	4	0,4	0,6
77	4	0,4	0,8
78	4	0,4	1
79	4	0,3	0
80	4	0,3	0,2
81	4	0,3	0,4
82	4	0,3	0,6
83	4	0,3	0,8
84	4	0,3	1
85	4	0,2	0
86	4	0,2	0,2

87	4	0,2	0,4
88	4	0,2	0,6
89	4	0,2	0,8
90	4	0,2	1
91	6	0,6	0
92	6	0,6	0,2
93	6	0,6	0,4
94	6	0,6	0,6
95	6	0,6	0,8
96	6	0,6	1
97	6	0,5	0
98	6	0,5	0,2
99	6	0,5	0,4
100	6	0,5	0,6
101	6	0,5	0,8
102	6	0,5	1
103	6	0,4	0
104	6	0,4	0,2
105	6	0,4	0,4
106	6	0,4	0,6
107	6	0,4	0,8
108	6	0,4	1
109	6	0,3	0
110	6	0,3	0,2
111	6	0,3	0,4
112	6	0,3	0,6
113	6	0,3	0,8
114	6	0,3	1
115	6	0,2	0
116	6	0,2	0,2
117	6	0,2	0,4
118	6	0,2	0,6
119	6	0,2	0,8
120	6	0,2	1
121	8	0,6	0
122	8	0,6	0,2
123	8	0,6	0,4
124	8	0,6	0,6
125	8	0,6	0,8
126	8	0,6	1
127	8	0,5	0
128	8	0,5	0,2
129	8	0,5	0,4
130	8	0,5	0,6
131	8	0,5	0,8
132	8	0,5	1
133	8	0,4	0
134	8	0,4	0,2
135	8	0,4	0,4
136	8	0,4	0,6
137	8	0,4	0,8

138	8	0,4	1
139	8	0,3	0
140	8	0,3	0,2
141	8	0,3	0,4
142	8	0,3	0,6
143	8	0,3	0,8
144	8	0,3	1
145	8	0,2	0
146	8	0,2	0,2
147	8	0,2	0,4
148	8	0,2	0,6
149	8	0,2	0,8
150	8	0,2	1

Bilag F: Luftmængdeberegning

Forureningen i hvert kontor antages at være 1,25 olf fra kontorets ene bruger. Værdien er fundet på baggrund af sammenhængen mellem aktivitetsniveau og forureningsbelastning (modelleret som 2. grads polynomium) i tabel A.6 side 26 i CR 1752 (European committee for standardization, 1998). Der benyttes 1,2 met som aktivitetsniveau svarende til siddende kontorarbejde i henhold til DS 474 Anneks B (Dansk Standard, 1993). Derudover 0,1 olf/m² fra bygningen, jævnfør tabel 1.6 side 40 i Grundlæggende Klimateknik og Bygningsfysik (Steen-Thøde et al., 2001).

$$A = 2,4 \text{ m} \cdot 4,8 \text{ m} = 11,5 \text{ m}^2 \quad (1.1)$$

Luftmængden beregnes ved:

$$V_L \text{ [l/s]} = 10 \cdot \frac{q \text{ [olf]}}{c - c_i \text{ [dp]}} \quad (1.2)$$

Belastningen fra bruger og bygning:

$$q = 1,25 \text{ olf} + 0,1 \text{ olf/m}^2 \cdot 11,5 \text{ m}^2 = 2,4 \text{ olf} \quad (1.3)$$

Den oplevede luftkvalitet i udeluft bestemmes ud fra tabel 1.7 side 41 i Grundlæggende Klimateknik og Bygningsfysik. Miljøet vurderes at være en by med moderat luftforurening, hvor værdien sættes til 0,05 - 0,30 dp. Ud fra formel 1.3 kan følgende nødvendige luftmængder beregnes i kategori A og B som funktion af baggrundskoncentrationen:

	c_i						
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Kat. A	24,0	25,3	26,7	28,2	30,0	32,0	34,3
Kat. B	17,1	17,8	18,4	19,2	20,0	20,9	21,8

Table 1.1. Nødvendig luftmængde i l/s for at overholde kategori A henholdsvis B. Forureningen stammer fra 1 person, bygningen samt varierende baggrundskoncentration.